

# SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE DE CANA-DE-AÇÚCAR

**MARCELO BORGES LOPES**  
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Marcos Milan

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

PIRACICABA

ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL

NOVEMBRO DE 1.995

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP**

Lopes, Marcelo Borges  
Simulação de um sistema de carregamento e transporte de cana-de-açúcar.  
Piracicaba, 1995.  
143p. ilus.

Diss.(Mestre) - ESALQ  
Bibliografia.

1. Cana-de-açúcar - Colheita - Avaliação 2. Cana-de-açúcar - Transporte - Simu  
lação I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.61

Aos meus pais, pelo incentivo, pelo apoio,  
mas principalmente pelo exemplo.

A Daniela,  
pela paciência e compreensão.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

- ⇒ ao Prof. Dr. Marcos Milan pela valiosa orientação, superando as restrições do tempo e da distância, sem a qual esse estudo não seria possível;
- ⇒ a Diretoria da Usina Santa Adelaide pela oportunidade oferecida e pela confiança no nosso trabalho;
- ⇒ aos funcionários da Usina Santa Adelaide, na pessoa do Sr. João Bonaldo, que tanto colaboraram na coleta de dados no campo;
- ⇒ a New Holland Latino Americana pela oportunidade oferecida;
- ⇒ a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desse estudo.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS .....	x
RESUMO .....	xiv
SUMMARY .....	xv
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	04
2.1. Sistemas de colheita de cana-de-açúcar .....	05
2.2. Simulação de desempenho e custos de transporte .....	15
2.3. Cálculo de custos .....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	25
3.1. Introdução .....	25
3.2. Desenvolvimento do modelo .....	26
3.2.1. Determinação do ciclo das carregadoras e tratores de reboque .....	29
3.2.2. Determinação do ciclo dos veículos de transporte .....	32
3.2.3. Cálculo de custos .....	37
3.2.3.1. Depreciação .....	37
3.2.3.2. Remuneração do capital (juros) .....	38
3.2.3.3. Impostos, seguro e administração.....	38
3.2.3.4. Combustível .....	39
3.2.3.5. Abrigo (para máquinas, implementos, peças, etc.) .....	39
3.2.3.6. Lubrificantes .....	40
3.2.3.7. Manutenção - peças e mão-de-obra .....	40
3.2.3.8. Custo de pneus .....	42
3.2.3.9. Comboio (serviços de apoio no campo) .....	44
3.2.3.10. Salário e encargos sociais.....	44
3.2.3.11. Valor inicial dos equipamentos.....	44
3.2.3.12. Uso anual dos equipamentos .....	45

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
4.1. Construção e validação do modelo .....	46
4.1.1. Capacidade operacional de carregamento .....	46
4.1.2. Determinação do ciclo das carregadoras e custo de carregamento .....	51
4.1.3. Determinação do tempo de ciclo dos tratores de reboque e custo da operação .....	55
4.1.4. Velocidade média em estradas .....	58
4.1.4.1. Velocidade média em estradas de terra .....	59
4.1.4.2. Velocidade média em estradas de asfalto .....	65
4.1.5. Determinação do ciclo dos caminhões e custo de transporte .....	70
4.1.6. Modelo desenvolvido .....	76
4.2. Análise de sensibilidade .....	76
4.2.1. Carregamento .....	77
4.2.2. Reboque.....	86
4.2.3. Transporte .....	93
4.2.4. Custo Total - Carregamento, Reboque e Transporte).....	105
4.3. Cenários .....	118
5. CONCLUSÕES .....	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	124
APÊNDICE 1 .....	129
APÊNDICE 2 .....	138

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Fluxograma do processo de colheita de cana-de-açúcar. Adaptado de LOPES <i>et al</i> (1995) .....	05
Figura 2 - Operações dos caminhões na usina. Fonte: HAHN <i>et al</i> (1995) .....	14
Figura 3 - Operações dos caminhões no campo. Fonte : HAHN <i>et al</i> (1995) .....	14
Figura 4 - Fluxograma simplificado de modelagem física para cálculo da velocidade média .....	19
Figura 5 - Fluxograma do modelo de simulação de desempenho e custos .....	26
Figura 6 - Trecho de estrada de terra caracterizado como piso ruim .....	34
Figura 7 - Trecho de estrada de terra caracterizado como piso médio .....	35
Figura 8 - Trecho de estrada de terra caracterizado como piso bom .....	36
Figura 9 - Dados obtidos nas amostragens de campo versus dados estimados através da equação empírica calculada para o carregamento mecânico -Eq (21) .....	49
Figura 10 - Correlação entre os dados estimados e medidos nas observações de campo .....	49
Figura 11 - Composição do custo horário das carregadoras de cana. Tipos de máquina 1, 2 e 3 são respectivamente as carregadoras de 81, 84 e 110 cv de potência no motor .....	53
Figura 12 - Comparação da composição do custo de carregamento estimado pelo modelo e o custo medido pela Usina 7 .....	55
Figura 13 - Comparação da composição do custo de reboque estimado pelo modelo e o custo medido pela Usina 7 .....	57
Figura 14 - Estradas de terra: dados estimados - Eq (22) - versus medidos nas observações de campo .....	62
Figura 15 - Estradas de terra: correlação entre os dados estimados - Eq (22) - e medidos nas observações de campo .....	62
Figura 16 - Estradas de terra: dados estimados - Eq (12) e Eq (13) versus dados medidos nas observações de campo .....	63
Figura 17 - Estradas de terra: correlação entre os dados estimados - Eq (12) e Eq (13) - e medidos nas observações de campo .....	64

Figura 18 - Estradas de asfalto: dados estimados - Eq (23) - versus dados medidos nas observações de campo.....	68
Figura 19 - Estradas de asfalto: dados estimados - Eq (23) versus dados medidos nas observações de campo .....	69
Figura 20 - Estradas de asfalto: dados estimados (Eq 10 e 11) versus dados medidos nas observações de campo .....	70
Figura 21 - Capacidade Diária de Transporte de Cana-de-Açúcar: dados observados na usina versus dados estimados pelo modelo .....	73
Figura 22 - Correlação entre o custo de transporte observado e o custo estimado para caminhões carga simples, em R\$/t.....	74
Figura 23 - Correlação entre o custo de transporte observado e o custo estimado para caminhões carga dupla, em R\$/t .....	75
Figura 24 - Correlação entre o custo de transporte observado e o custo estimado para caminhões carga tripla (treminhões), em R\$/t .....	75
Figura 25 - Variação do Custo de Carregamento em função do Número do Corte da Soqueira. Mq 1, 2 e 3 correspondem aos tipos de máquinas carregadoras de cana caracterizadas na Tabela 7 .....	83
Figura 26 - Variação do Custo e da Capacidade Operacional de Carregamento em função do Tempo de Espera para Carregamento. Mq 1, 2 e 3 correspondem aos tipos de máquinas carregadoras de cana caracterizadas na Tabela 7 .....	84
Figura 27 - Variação do custo de carregamento em função do valor do salário pago aos operadores. Mq 1, 2 e 3 são respectivamente carregadoras tipo 1, 2 e 3 caracterizadas na Tabela 7 .....	85
Figura 28 - Variação do custo de carregamento em função da incidência de encargos sociais sobre o salário dos operadores. Mq 1, 2 e 3 são respectivamente carregadoras tipo 1, 2 e 3 caracterizadas na Tabela 7 .....	86
Figura 29 - Variação do custo operacional de reboque de carretas em função da eficiência operacional. Tr 1 e 2 são respectivamente os tratores tipo 1 e 2 caracterizados na Tabela 11.....	89



Figura 30 - Variação do custo operacional de reboque de carretas em função do tempo de espera para carregamento (espera de carretas). Tr 1 e 2 são respectivamente os tratores tipo 1 e 2 caracterizados na Tabela 11 .....	90
Figura 31 - Variação do custo operacional de reboque de carretas em função da capacidade operacional de carregamento. Tr 1 e 2 são respectivamente os tratores tipo 1 e 2 caracterizados na Tabela 11 .....	91
Figura 32 - Variação do custo operacional de reboque de carretas em função do número de horas trabalhadas na entressafra. Tr 1 e 2 são respectivamente os tratores tipo 1 e 2 caracterizados na Tabela 11 .....	92
Figura 33 - Variação do custo operacional de transporte em função do tempo de espera para carregamento. Cam. 1 a 6 são respectivamente caminhões tipo 1 ao 6 caracterizados na Tabela 14 .....	101
Figura 34 - Variação do custo operacional de transporte em função do tempo de espera para descarregamento. Cam. 1 a 6 são respectivamente caminhões tipo 1 ao 6 caracterizados na Tabela 14 .....	101
Figura 35 - Variação do custo operacional de transporte em função do valor dos salários pagos aos motoristas. Cam. 1 a 6 são respectivamente caminhões tipo 1 ao 6 caracterizados na Tabela 14 .....	102
Figura 36 - Variação do custo operacional de transporte em função da carga útil transportada pelos veículos. Cam. 1 a 6 são respectivamente caminhões tipo 1 ao 6 caracterizados na Tabela 14 .....	104
Figura 37 - Análise de sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte para a combinação de equipamentos número 1 .....	109
Figura 38 - Análise de sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte para a combinação de equipamentos número 2 .....	111
Figura 39 - Análise de sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte para a combinação de equipamentos número 3 .....	113
Figura 40 - Variação do Custo e da Capacidade Operacional de Carregamento em função da declividade. Mq 1, 2 e 3 correspondem aos tipos de máquinas carregadoras de cana caracterizadas na Tabela 7 .....	119

Figura 41 - Evolução do custo total de carregamento, reboque e transporte de cana-de-açúcar em função da distância, considerando 20 minutos de espera para descarregamento. Comb 1, 2 e 3 são respectivamente as combinações de equipamentos 1, 2 e 3 definidas no item 4.2.4 .....	120
Figura 42 - Evolução do custo total de carregamento, reboque e transporte de cana-de-açúcar em função da distância, considerando 40 minutos de espera para descarregamento. Comb 1, 2 e 3 são respectivamente as combinações de equipamentos 1, 2 e 3 definidas no item 4.2.4 .....	121

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1- Velocidades médias dos veículos, em Km/h, de acordo com o tipo de estrada, onde: Terra 1 são estradas de terra principais e Terra 2 estradas de terra secundárias. ....	06
Tabela 2 - Tempos auxiliares médios, em minutos, para cada tipo de veículo .....	07
Tabela 3 - Relação velocidade vazio (km/h) / velocidade carregado (km/h) de caminhões de cana.....	09
Tabela 4 - Velocidades médias (km/h) por tipo de caminhão em diferentes tipos de estrada, onde: Terra 1 são estradas de terra principais e Terra 2 estradas de terra secundárias. ....	09
Tabela 5 - Carregamento mecânico: variação do custo total da operação em função de acréscimo de 1% no parâmetro considerado .....	22
Tabela 6 - Transporte para a Usina: variação do custo total da operação em função de acréscimo de 1% no parâmetro considerado .....	23
Tabela 7 - Caracterização da frota de carregadoras de cana .....	48
Tabela 8 - Caracterização e análise estatística das variáveis da equação de capacidade operacional de carregamento - Eq (21) .....	50
Tabela 9- Faixas de tempo para amarração e reboque, em minutos .....	51
Tabela 10 - Comparação do custo médio de carregamento de sete diferentes empresas com os valores estimados pelo modelo para as máquinas tipo 1 e 3 .....	54
Tabela 11 - Caracterização dos tratores utilizados para reboque de julietas .....	55
Tabela 12 - Faixas de tempo para engate de julietas, em minutos .....	56
Tabela 13 - Comparação do custo médio de reboque de sete diferentes empresas com os valores estimados pelo modelo para tratores de 120 cv e 140 cv.....	57
Tabela 14 - Caracterização dos veículos utilizados no transporte de cana-de-açúcar ...	58
Tabela 15 - Caracterização e análise estatística das variáveis utilizadas na equação de regressão - Eq (22) .....	60
Tabela 16 - Comparação entre os dados de velocidade média em estradas de terra (km/h) observados e estimados .....	65

Tabela 17 - Caracterização e análise estatística das variáveis utilizadas na equação de regressão - Eq (23) .....	66
Tabela 18 - Análise estatística dos dados de velocidade média obtidos e estimados através da equação (23) .....	68
Tabela 19 - Faixas de tempo gasto na usina, de acordo com o tipo de caminhão, em minutos. Teste F para 5% de significância, onde letras iguais indicam que não há diferença estatística significativa .....	71
Tabela 20 - Capacidade diária de transporte de cana-de-açúcar (em t/dia) por veículo.....	72
Tabela 21 - Custo de transporte de cana-de-açúcar (R\$/t) em diversas empresas e estimado pelo modelo.....	74
Tabela 22 - Sensibilidade do custo de carregamento à diversas variáveis. Números entre parênteses representam valores negativos .....	78
Tabela 23 - Variação percentual do custo operacional de carregamento para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Máquina 1. ....	79
Tabela 24 - Variação percentual do custo operacional de carregamento para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Máquina 2 .....	79
Tabela 25 - Variação percentual do custo operacional de carregamento para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Máquina 3 Variação percentual do custo operacional de carregamento para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Máquina 1.....	80
Tabela 26 - Variação percentual de alguns parâmetros necessária para compensar o aumento do custo operacional de carregamento gerado por 10% de aumento no salário pago aos operadores das máquinas carregadoras de cana-de-açúcar.....	82
Tabela 27 - Sensibilidade do custo de reboque de carretas à diversas variáveis.....	87
Tabela 28 - Variação percentual do custo operacional de reboque de carretas para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis .....	88
Tabela 29 - Sensibilidade do custo de transporte à diversas variáveis.....	94
Tabela 30 - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 1 .....	95

Tabela 31 - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 2 .....	96
Tabela 32 - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 3 .....	97
Tabela 33 - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 4 .....	98
Tabela 34 - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 5 .....	99
Tabela 35 - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 6 .....	100
Tabela 36 - Variação percentual de alguns parâmetros necessária para compensar o aumento do custo operacional de transporte gerado por 10% de aumento no salário pago aos motoristas dos caminhões que transportam cana-de-açúcar .....	103
Tabela 37 - Sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte à diversas variáveis .....	106
Tabela 38 - Variação percentual do custo operacional total para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Combinação número 1 .....	108
Tabela 39 - Variação percentual do custo operacional total para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Combinação número 2 .....	110
Tabela 40 - Variação percentual do custo operacional total para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Combinação número 3 .....	112
Tabela 41 - Aumento do custo total (em %) gerado por um acréscimo de 10 minutos no tempo de ciclo de cada equipamento .....	114
Tabela 42 - Aumento do custo total (em R\$) gerado por um acréscimo de 10 minutos no tempo de ciclo de cada equipamento ao longo de uma safra na empresa onde foi desenvolvido o estudo .....	115
Tabela 43 - Variação percentual de alguns parâmetros permitida - sem acréscimo do custo total de carregamento, reboque e transporte - para gerar aumento de 1% na carga útil transportada pelos veículos .....	116

Tabela 44 - Variação percentual de alguns parâmetros necessária para compensar o aumento do custo operacional total gerado por 10% de aumento no salário pago aos operadores de máquinas e caminhões .....	117
--	-----

# SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE DE CANA-DE-AÇÚCAR

Autor: MARCELO BORGES LOPES

Orientador: PROF. DR. MARCOS MILAN

## RESUMO

Com o objetivo de analisar o processo de colheita de cana-de-açúcar em uma usina, foi desenvolvido um modelo representativo das operações de carregamento mecânico, reboque de carretas e transporte da cana até a indústria. Para estimar a velocidade média dos veículos nas estradas e a capacidade operacional de carregamento foram desenvolvidas equações empíricas com dados coletados em uma usina da região de Jaú (SP). Foram realizadas medições de tempo de diversas operações determinando-se faixas de tempo para cada uma delas, de acordo com o ritmo: lento, médio e rápido. Os custos operacionais foram estimados através de metodologias encontradas na literatura e dados reais de desempenho da usina.

O modelo foi validado comparando-se os dados estimados pelo modelo e dados reais da usina onde foram feitas as medições e de outras seis empresas. As equações desenvolvidas apresentaram boa correlação entre dados observados e estimados, no entanto os intervalos de confiança são muito restritos. Os custos estimados pelo modelo foram muito próximos dos custos medidos pelas empresas.

Desenvolveu-se análise de sensibilidade do custo operacional à variação de diversos parâmetros para cada operação individualmente e do custo total de carregamento, reboque e transporte. Os fatores que mais influência tiveram sobre o aumento do custo total foram o custo da mão-de-obra e os tempos perdidos. A redução desse custo por outro lado, foi mais sensível ao aumento da carga útil transportada pelos caminhões e da eficiência operacional dos equipamentos.

# SIMULATION OF A SUGAR CANE LOADING AND TRANSPORT SYSTEM

Author: MARCELO BORGES LOPES

Adviser: PROF. DR. MARCOS MILAN

## SUMMARY

In order to analyse the sugar cane harvesting system of a sugar mill, a model representing load, field trailer tow and transport operations were developed. To estimate lorry velocity and loading operational capacity, empirical equations were developed with data measured in a sugar mill near Jaú (SP, Brazil). Timekeeping some operations time bands were determined according to the rhythm: slowly, medium or quickly. Costs were estimated with methodologies found in the literature and real data from the sugar mill.

To validate the model, estimated data were compared to real data from the sugar mill and other enterprises. Good correlations were found between real data and data estimated with the empirical equations, but the safe ranges were too short. Estimated costs obtained with the developed model were very similar to real ones.

Sensitivity analysis were developed for the operational cost of each operation and the total cost. The parameters that most contribute to costs increase were labour cost and loose time. On the other side, lorry capacity and operational efficiency were the parameters that most contribute to costs decrease.



## 1. INTRODUÇÃO

A colheita de cana-de-açúcar é uma atividade muito complexa, sofrendo interferência de diversos fatores. O seu planejamento envolve o comportamento biológico da cultura, os recursos disponíveis (materiais e humanos) e a necessidade de matéria-prima para a indústria. Tal atividade se torna ainda mais importante devido ao seu alto custo: em média de 30 a 40% do custo da cana entregue para moagem vem das operações de corte, carregamento e transporte.

O grande número de variáveis envolvidas dificulta o planejamento da colheita. É preciso considerar, ao mesmo tempo, as atividades a serem desenvolvidas antes (amostragem para pré-análise, aceiros, conservação de estradas, etc.), durante (queima, corte, carregamento, reboque, transporte e moagem) e após a colheita (aplicação de vinhaça, aleiramento da palha, tríplex operação<sup>1</sup>, aplicação de herbicidas, etc.). O planejamento das áreas a serem colhidas é feito visando maximizar a quantidade de açúcar por hectare, sujeitando-se às restrições dos recursos disponíveis e a capacidade de moagem da indústria. Além de todos esses fatores existe ainda o clima, que pode repentinamente fazer com que todo um plano seja revisto.

A programação de colheita é fundamentalmente dinâmica. É comum que se faça um planejamento prévio em função da época de corte no ano anterior (procura-se trabalhar com um intervalo entre cortes de 12 meses) e que a colheita seja reprogramada de acordo com as pré-análises, que são amostras retiradas dos canaviais visando determinar o estágio de maturação da cana. Na empresa onde o trabalho foi desenvolvido era essa a sistemática utilizada. A quantificação de equipamentos e mão-de-obra era feita com os dados preliminares do planejamento agrícola associado ao planejamento industrial. O replanejamento da colheita ocorre também, em função de incidentes - como por exemplo a queima de talhões não programados - e de chuvas que provocam

---

<sup>1</sup> Em uma única operação são feitos a subsolagem e cultivo mecânico das entrelinhas do canavial e adubação da soqueira.

mudanças de áreas na realização das atividades ou até mesmo a interrupção dos trabalhos.

Para essa situação específica, a grande dificuldade no gerenciamento das atividades de carregamento e transporte, é a necessidade de um rápido replanejamento, a fim de verificar a viabilidade ou não de determinadas mudanças. O objetivo final é manter um fluxo constante de entrega de matéria-prima para moagem, durante as 24 horas do dia, 210 dias por ano. Uma estimativa da empresa aponta para um custo de US\$10.000,00 por hora de moagem parada no período de safra. Como os fatores envolvidos são muitos e os erros muito onerosos, acaba-se tendo uma situação de superdimensionamento dos recursos, e pela sequência de custos das atividades, após a moagem, o transporte é a operação mais cara, seguida pelo carregamento. Assim, chega-se a uma situação em que a ociosidade no transporte é preferível a uma falta de cana para moagem, assim como a ociosidade de carregadoras e tratores é preferível à perda de tempo dos caminhões aguardando carregamento.

Em função do elevado custo e das dificuldades para obtenção de parâmetros operacionais confiáveis no momento do replanejamento da colheita, decidiu-se o objetivo geral desse estudo: desenvolver uma ferramenta que permita analisar o sistema de colheita como um todo, determinando os pontos que devem receber maior cuidado no gerenciamento da colheita. Dessa forma a primeira etapa do estudo foi desenvolver um modelo que permitisse a simulação das operações de carregamento e transporte mecânico de cana-de-açúcar. A grande variabilidade das condições de campo existentes, associada à diversidade de modelos de máquinas e caminhões, levou ao desenvolvimento de equações empíricas para obtenção da capacidade operacional de carregamento e da velocidade média dos caminhões de transporte de cana.

O primeiro passo num estudo de simulação é desenvolver um modelo que represente o sistema a ser investigado, sendo que o modelo de simulação não precisa ser uma representação completamente realística do sistema real. Neste estudo pretende-se apenas obter respostas com um grau de confiabilidade suficiente para cobrir as necessidades do problema apresentado. Aliado a isso, também serão feitas estimativas de custo, visando quantificar monetariamente o custo da ociosidade dos equipamentos

devido aos fatores já apresentados e também identificar quais os fatores que mais influenciam o custo do carregamento e transporte. O último objetivo é a identificação das alternativas mais econômicas, o que também será possível através do uso da simulação, auxiliando no planejamento de renovação da frota.

Os objetivos desse estudo são:

*objetivo geral:*

- desenvolver uma ferramenta que permita analisar o sistema de colheita de cana-de-açúcar de uma usina como um todo, determinando os pontos que devem receber maior cuidado no gerenciamento da colheita;

*objetivos específicos:*

- desenvolver um modelo que permita a simulação das operações de carregamento e transporte mecânico de cana-de-açúcar;
- estimar o custo operacional da colheita visando quantificar monetariamente o custo da ociosidade dos equipamentos;
- identificar quais os fatores que mais influenciam o custo do carregamento e transporte;
- identificar as alternativas mais econômicas dentre os equipamentos disponíveis.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

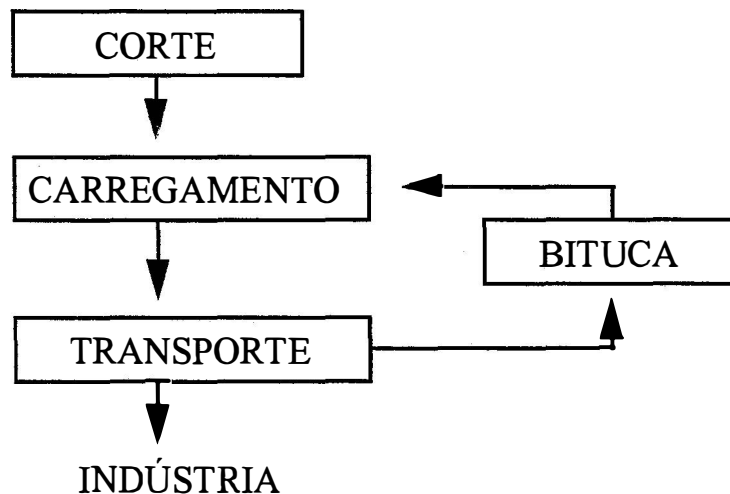
A colheita de cana-de-açúcar foi definida por BOFILL *et al* (1982) como sendo a atividade que se inicia com o corte da cana no campo e termina quando essa cana está na indústria, disponível para moagem. Essa atividade requer uma série de recursos como colhedoras, caminhões, tratores, reboques e/ou semi-reboques canavieiros. Os autores apresentam e discutem diversos modelos matemáticos que podem ser aplicados a diferentes fases (atividades) da colheita visando a sua otimização.

A colheita de cana-de-açúcar é uma atividade complexa e custosa. O seu planejamento envolve fatores edafoclimatológicos, vegetativos e disponibilidade de recursos. ALVAREZ *et al.* (1982) desenvolveram um estudo buscando equações empíricas que representassem o crescimento e a maturação da cana. A produção de açúcar por área é função do crescimento vegetativo das plantas e da concentração de açúcar nos colmos. Esses dois fatores, apesar de sua interação, foram considerados isoladamente. Os autores identificaram 25 variáveis que influenciam a produção de açúcar por área, desde solo (tipo e profundidade), adubação, radiação solar, temperatura, até a distância de um determinado lago.

Trabalhando com gerenciamento de operações agrícolas mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar, BALASTREIRE *et al.* (1995) identificaram 10 diferentes sistemas com 10 diferentes equipamentos para corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar. Cada um desses equipamentos tem uma determinada capacidade operacional e custos operacionais distintos. Os custos totais de produção de cana planta variaram em 10% para distâncias até a indústria de 2 a 30 km e na cana soca 35% para as mesmas distâncias. Essa maior variação na cana soca indica a grande influência do transporte no custo total de produção da cana, principalmente após a implantação da cultura.

A disponibilidade de recursos também envolve muitas variáveis e uma grande quantidade de incertezas. O volume de matéria movimentado é grande, exigindo muitos equipamentos e a gama de opções disponíveis é enorme. LOPES *et al.* (1995) ao estudarem o processo de produção de cana-de-açúcar definiram o fluxograma da Figura 1

para a colheita de cana, onde a operação "bituca" é a catação manual dos restos de cana deixados na lavoura após o carregamento.



**Figura 1** - Fluxograma do processo de colheita de cana-de-açúcar. Adaptado de LOPES *et al* (1995).

### 2.1. Sistemas de colheita de cana-de-açúcar

Diversos autores realizaram estudos sobre desempenho e custo operacional das operações de colheita de cana-de-açúcar. Todos utilizam-se de valores médios de velocidade dos caminhões e tempo de carregamento.

GAGO (1986) apresenta um estudo comparativo entre quatro sistemas alternativos para colheita de cana. Para padronização da análise, utiliza-se da seguinte distribuição dos tempos de operação:

- tempos produtivos - são aqueles contabilizados quando um determinado equipamento está desempenhando efetivamente a sua função produtiva;
- tempos auxiliares - correspondem aos tempos dispendidos com funções auxiliares, que a operação do equipamento obrigatoriamente exige;

- tempos perdidos - englobam os períodos em que o equipamento está disponível para operar porém não é utilizado em função de situações gerenciais do sistema que independem da máquina.

Em relação a capacidade dos equipamentos, o autor define como Capacidade Operacional as toneladas de cana processadas por hora utilizada, considerando também os tempos auxiliares.

Um dos sistemas analisados pelo autor é o de corte manual com a formação de feixes, seguido pelo carregamento mecânico com carregadora de garra hidráulica e transporte até a indústria em caminhões 6x4 com e sem carretas. Os dados de desempenho operacional dos equipamentos obtidos são apresentados nas Tabelas 1 e 2, onde as capacidades de carga consideradas para os veículos são: CS - carga simples - 15t (caminhão Mercedes-Benz<sup>2</sup> 2213), CD - carga dupla - 30t (caminhão Mercedes-Benz 2219), CT - carga tripla - 45t (caminhão Scania 112E).

**Tabela 1-** Velocidades médias dos veículos, em km/h, de acordo com o tipo de estrada, onde: Terra 1 são estradas de terra principais e Terra 2 estradas de terra secundárias.

<i>Veículo</i>	<i>Asfalto</i>		<i>Terra 1</i>		<i>Terra 2</i>	
	Carregado	Vazio	Carregado	Vazio	Carregado	Vazio
<b>MB 2213 - CS</b>	33,1	55,4	25,0	36,0	15,0	22,0
<b>MB 2219 - CD</b>	35,7	56,1	19,6	28,8	14,9	19,0
<b>SC 112E - CT</b>	33,9	54,4	23,0	26,1	11,1	16,9

Fonte: GAGO, 1986.

<sup>2</sup> A citação de marcas e modelos de equipamentos visa simplesmente facilitar a sua identificação, não representando indicação do autor.

**Tabela 2** - Tempos auxiliares médios, em minutos, para cada tipo de veículo.

<i>Operação</i>	<i>MB 2213 - CS</i>	<i>MB 2219 - CD</i>	<i>SC 112E - CT</i>
<b>Carregamento</b>	24,0	24,0	24,0
<b>Preparo da carga</b>	10,0	16,0	23,0
<b>Amostragem</b>	2,5	5,0	7,5
<b>Soltar carga</b>	4,0	7,5	11,0
<b>Descarregamento</b>	4,0	7,5	11,0
<b>Limpeza da carroceria</b>	4,0	7,0	10,0
<b>Total</b>	48,5	67,0	86,5

Fonte: GAGO, 1986.

A classificação dos tempos de operação das máquinas proposta por GAGO (1986) foi retificada por GONÇALVES *et al* (1993), redefinindo-a como:

- tempos produtivos: aqueles contabilizados quando um determinado equipamento está efetivamente desempenhando sua função produtiva;
- tempos acessórios: correspondem aos tempos ativos do equipamento, dispendidos com funções auxiliares, obrigatoriamente exigidas pela sua operação - tais tempos só teriam interesse em medições instantâneas de campo, tal como manobras;
- tempos auxiliares: tempos inativos do equipamento, dispendidos com funções auxiliares, obrigatoriamente exigidas pela sua operação, como, por exemplo, abastecimento de insumos ou regulagem de implemento;
- tempos de inaptidão: tempos em que o equipamento está apto a operar, porém não é utilizado devido às inadequações edafoclimáticas como chuva ou vento;
- tempos perdidos: englobando os períodos em que o equipamento está disponível para operar, incluindo condições climáticas e estado do solo, mas não é utilizado em função de situações administrativo-gerenciais do setor agrícola, como aguardando programação ou falta de insumos.

- tempos trabalhados: soma dos tempos produtivos com os tempos acessórios do equipamento.

Com essa nova distribuição de tempos, os autores calcularam eficiências que permitem distinguir paradas de equipamentos por situações gerenciais ou climáticas, o que não era possível com a classificação anterior (GAGO, 1986). Utilizando a metodologia proposta em uma empresa produtora de cana-de-açúcar durante uma safra, os autores detectaram entre os meses de maio e julho baixa eficiência devido à situações gerenciais enquanto em setembro e outubro a eficiência gerencial já havia evoluído mas as condições edafoclimáticas impediam uma maior eficiência na utilização dos equipamentos.

FIGUEIREDO FILHO *et al* (1984) analisaram a influência dos tempos improdutivos e auxiliares (associados com manutenção, carregamento e descarregamento) sobre a capacidade de transporte de cana de uma frota. Foram estudados caminhões com potência entre 120 e 305 cv, e capacidade de carga entre 15 e 45 t. Os autores destacam a maior influência desses tempos sobre o desempenho dos veículos nas distâncias mais curtas. Desta forma sugerem a priorização dessas áreas próximas no momento de se implantar sistemas como o transbordo, ou outros que reduzam a participação dos tempos auxiliares e improdutivos no tempo de ciclo total do caminhão. É apresentado também um fator que correlaciona as velocidades dos caminhões vazios e carregados, conforme mostrado na Tabela 3, onde os caminhões são classificados em categorias:

- I - tração 6x4, 120 a 130 cv, 15 t de carga;
- II - tração 6x4, 190 a 305 cv, 30 t de carga;
- III - tração 6x4, 250 a 305 cv, 45 t de carga.



**Tabela 3** - Relação velocidade vazio (km/h) / velocidade carregado (km/h) de caminhões de cana.

<i>Categoria de Caminhão</i>	<i>Asfalto</i>	<i>Terra</i>
<b>I</b>	1,65	1,4
<b>II</b>	1,61	1,6
<b>III</b>	1,69	1,3

Fonte: FIGUEIREDO FILHO *et al* (1984).

FIGUEIREDO FILHO (1986), analisando a incidência dos principais parâmetros operacionais na capacidade de transporte de cana-de-açúcar de uma frota, utiliza as velocidades médias apresentadas na Tabela 4 como base para cálculos. A exemplo do estudo anterior, o autor ressalta o efeito negativo de tempos improdutivo e auxiliares crescentes sobre a produtividade das unidades de transporte. Foi verificado um aumento exponencial da influência desses tempos com a diminuição das distâncias de transporte.

**Tabela 4** - Velocidades médias (km/h) por tipo de caminhão em diferentes tipos de estrada, onde: Terra 1 são estradas de terra principais e Terra 2 estradas de terra secundárias.

<i>Veículo - Carga</i>	<i>Asfalto</i>		<i>Terra 1</i>		<i>Terra 2</i>	
	Carregado	Vazio	Carregado	Vazio	Carregado	Vazio
<b>Carga simples - 15t</b>	33,44	55,78	25,30	36,46	25,30	36,46
<b>Carga dupla - 30t</b>	35,72	56,14	19,64	28,84	14,86	19,94
<b>Carga tripla - 45t</b>	33,91	54,42	23,01	26,11	11,06	16,86

Fonte: FIGUEIREDO FILHO *et al*, 1986.

BRAUNBECK & PINTO (1988), comparando o sistema de carregamento mecânico convencional, com o carregamento mecânico contínuo de cana inteira, e um protótipo de carregadora transportadora, apresentam alguns dados de desempenho operacional e custos de carregamento. Com dados obtidos em três usinas durante as

safras de 85 a 87, em um total de mais de 100 mil horas trabalhadas, verificou-se capacidades operacionais<sup>3</sup> entre 24,1 e 26,9 t/h, custo de peças de manutenção<sup>4</sup> entre US\$ 3,55 e US\$ 4,44 por hora e consumo de óleo Diesel entre 4,0 e 4,8 l/h, sendo que o consumo de combustível, medido em toneladas de cana carregada por litro, variou de 5,6 a 7,1. As variações da capacidade operacional e do consumo de combustível foram creditados a características específicas de cada usina - distâncias percorridas em deslocamentos entre fazendas, esquemas de carregamento e intensidade do trabalho realizado - enquanto a variação dos custos de manutenção deve-se principalmente à diferença de idade e horas de uso das máquinas.

A modelagem de sistemas de colheita e transporte de cana-de-açúcar também tem sido objeto de vários estudos. Um modelo desenvolvido nas Filipinas para testar alternativas, estratégias e decisões para gerenciamento do sistema de colheita e transporte de cana considera alguns fatores que afetam o uso dos equipamentos:

- clima;
- planejamento da colheita;
- moagem diária;
- tempos de filas;
- tempo de descarregamento;
- tempo de viagem.

Nesse modelo de LIBUNAO (1977), a capacidade operacional de carregamento é considerada constante. São usados valores médios de tempos de viagem, apesar de influenciados pelo fator humano (motorista), condições de estradas e tráfego. O tempo de descarregamento também é considerado constante, apesar de variar com a hora do dia, operador e tipo de carregamento.

GENTIL & RÍPOLI (1977) definiram sistemas e desenvolveram equações para analisar um sistema de corte mecânico de cana seguido de transbordo e transporte

---

<sup>3</sup> Números obtidos através da divisão do total de toneladas carregadas durante as safras pelo número de horas trabalhadas no mesmo período.

<sup>4</sup> Valores convertidos pelo câmbio oficial do dólar americano no último dia útil de dezembro de 87: US\$ 1,00 = Cz\$ 71,71.

rodoviário. Também realizaram simulações para determinar o efeito da eficiência de cada sistema (corte, transbordo, transporte e descarregamento) sobre o número de equipamentos necessários. O sistema de transporte se mostrou muito sensível à variação da eficiência, mostrando o ponto principal a ser gerenciado. Por outro lado, ao considerar que 80% do tempo de transporte é gasto em viagens e apenas 20% no descarregamento, os autores fizeram com que o tempo perdido na usina não fosse tão significativo.

O planejamento de um sistema de transporte de cana-de-açúcar foi alvo de estudo desenvolvido por COCHRAN & WHITNEY (1977). Os fatores considerados no planejamento foram:

- capacidade de carregamento;
- número de unidades de transporte;
- capacidade de carga de cada unidade de transporte;
- distância do campo até a indústria;
- velocidade média das unidades de transporte;
- tempo gasto para descarregamento na usina.

Para dimensionar a capacidade de abastecimento de cana de um determinado sistema de transporte, os autores tomaram por base a capacidade de carregamento. Se houvesse uma disponibilidade constante de veículos de transporte no campo, o fluxo de cana entregue na indústria ( $De$ ) seria igual ao fluxo de carregamento ( $R$ ):

$$De = R. \quad (1)$$

No entanto, existe uma probabilidade de que em parte do tempo, todos os veículos estejam na usina ou em trânsito. Assim, o fluxo de cana entregue ( $De$ ) é:

$$De = R(1-Po) \quad (2)$$

onde  $(1-Po)$  é a probabilidade de, em um determinado momento, pelo menos uma unidade de transporte ou de carregamento estar ociosa (fila para carregamento e/ou

espera de veículos). Em termos de custos, os autores analisam economicamente os sistemas de transporte com base no custo da mão-de-obra, custo fixo dos equipamentos e custo operacional dos equipamentos.

A dificuldade de se prever com certa precisão o comportamento futuro de um sistema de colheita e transporte de cana-de-açúcar para garantir o fornecimento de cana para moagem levaram HAHN *et al.* (1994) a desenvolver um software para auxiliar a tarefa de alocação diária de caminhões, carregadoras e tratores. O grande número de variáveis envolvidas nesse planejamento leva a um super dimensionamento da frota, acarretando maiores custos devido ao tempo perdido em filas pelos equipamentos. São definidas as seguintes entidades no modelo: caminhão, carregadora, ponto de descarregamento, trator e turno. Cada carregadora é caracterizada através do tempo médio de carregamento e desvio padrão, função da frente de corte e da classe de caminhão. Os tratores são identificados entre outros atributos pelo tempo médio de carregamento e desvio padrão com uma julietta acoplada. Além do planejamento diário, o sistema pode ser usado para prever o impacto da introdução de novos equipamentos no sistema de transporte; para testar diferentes números de trocas de turno por período e o melhor intervalo entre uma troca e outra para amenizar o problema de queda no estoque de cana da usina; e para treinamento de pessoal.

HAHN *et al.* (1995) apresentam o software desenvolvido em 1994 para quantificar o menor número de equipamentos para transporte de cana através da minimização dos tempos perdidos. São considerados tempos perdidos aqueles nos quais os equipamentos estão disponíveis mas não são utilizados em função de situações gerenciais. Os tempos perdidos de maior repercussão no sistema são as filas de caminhões na balança e no campo, o tempo ocioso das colhedoras ou carregadoras à espera de veículos de transporte e o tempo de espera dos tratores por carrocerias (reboques e julietas). A técnica de simulação é utilizada devido ao tamanho e complexidade do sistema enquanto também é capaz de suportar um modelo realista o suficiente para fornecer resultados práticos e precisos. As Figuras 2 e 3 esquematizam a operação básica dos caminhões no campo e na usina. As variáveis consideradas são:

- tempos de fila na lavoura e na usina;

- tempos das operações (carregamento, descarregamento, etc) descritos pelo modelo por uma distribuição normal (média e desvio padrão);
- tempos de viagem, também descritos por uma distribuição normal cujos parâmetros são função do tipo de caminhão, distância da frente de corte ou carregamento e sentido da viagem (vazio ou carregado);
- taxa de manutenção, representa a porcentagem média de tempo que é perdida por dia em operações de manutenção;
- fator garagem, que determina quando um caminhão deve ou não se dirigir para a garagem e aguardar a troca de turno.

-- O sistema foi validado com a comparação dos resultados da simulação com dias normais de operação de uma usina. A similaridade dos resultados confirma a possibilidade de uso do modelo. Nessa simulação os autores concluíram que, sem mudanças drásticas na operação do sistema de transporte, seria possível reduzir de 5 a 22% o número de caminhões e de 40 a 54% o número de carregadoras e colhedoras que operaram.

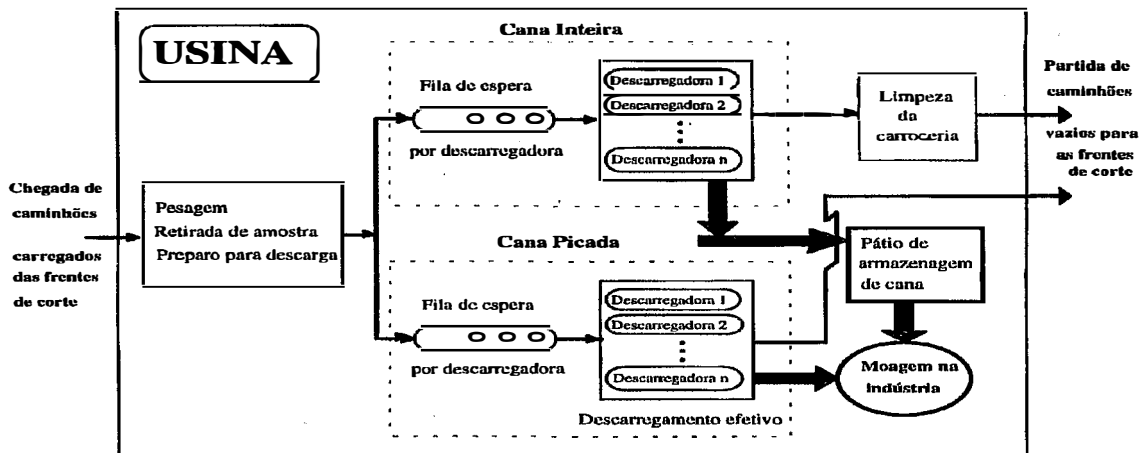


Figura 2 - Operações dos caminhões na usina. Fonte: HAHN *et al* (1995).

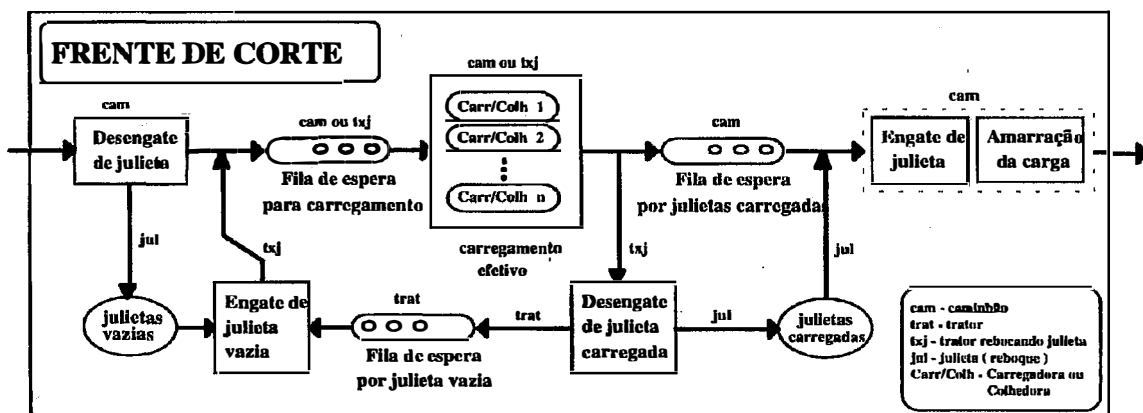


Figura 3 - Operações dos caminhões no campo. Fonte : HAHN *et al* (1995).

PINTO *et al.* (s.d.) desenvolveram um estudo econômico e de tempos e movimentos para comparar dois sistemas de transporte de cana em uma região de relevo acidentado, onde se planta cana até uma declividade de 35%. O tempo de ciclo dos equipamentos de transporte e carregamento foi calculado através da seguinte expressão:

$$T_{ci} = T_v + T_m + T_c + T_t + T_d \quad (3)$$

onde:  $T_{ci}$  - tempo médio para o ciclo completo;

$T_v$  - tempo médio para o percurso sem carga;

$T_m$  - tempo médio de manobras;

$T_c$  - tempo médio para manobras para carregamento;

$T_t$  - tempo médio para o percurso com carga;

$T_d$  - tempo médio para descarga.

Nessa análise, o sistema de transporte tradicional apresentou um custo operacional (US\$/t) 2,7% superior ao com transbordo otimizado, porém com uma capacidade de transporte (t/h) 20% superior.

## 2.2. Simulação de desempenho e custos de transporte

Estudos envolvendo transporte de cargas de regiões em desenvolvimento foram realizados na Inglaterra, em cooperação com instituições de pesquisa e governos de países africanos. São propostos tanto modelos empíricos como modelos físicos para estimar o desempenho de veículos nas mais diversas condições.

O conhecimento de custos operacionais atualizados e precisos é o pré-requisito mais importante para avaliar o custo total de uma operação de transporte ou em uma análise de investimento. Para atender essa necessidade, HIDE *et al* (1975) estudaram o comportamento de diversos tipos de veículos trafegando em estradas em diferentes condições buscando estabelecer as influências da geometria das estradas e sua superfície sobre o desempenho e custos de diversos tipos de veículos. No cálculo de custos foram considerados os seguintes componentes: consumo de combustível; consumo de lubrificantes; custo de manutenção, incluindo peças e mão-de-obra; gasto de pneus; e depreciação. As equações de regressão obtidas foram:

- consumo de combustível em estradas asfaltadas -

$$FL = 105,4 + 903/V + 0,0143V^2 + 4,362RS - 1,834F - 2,40PW \quad (4)$$

- consumo de combustível em estradas de terra -

$$FL = 122,0 + 796/V + 0,150V^2 + 4,176RS - 2,216F + 0,00145R + 1,97L - 2,62PW \quad (5)$$

- peças de manutenção -

$$PC / (VP \times K) = (0,48 + 0,00037R) \times 10^{-11} \quad (6)$$

- mão-de-obra de manutenção -

$$LH / (PC/VP) = 2975 - 0,078R \quad (7)$$

- custo de pneus -

$$TC / W = (83 + 0,0112 R) \times 10^{-7} \quad (8)$$

- custo de depreciação -

$$DP = -0,317 + 0,273 (Ym)^{1/3} \quad (9)$$

onde:  $FL$  - consumo de combustível em litros/1000 km;

$V$  - velocidade em km/h;

$RS$  - aclave em m/km;

$F$  - declive em m/km;

$PW$  - relação potência / peso em hp/t;

$R$  - rugosidade da superfície em mm/km;

$L$  - espessura de material solto na superfície em mm;

$PC$  - custo de peças por km;

$VP$  - preço do veículo novo;

$K$  - idade do veículo em km rodados;

$LH$  - número de horas gastas em manutenção por km.

$W$  - peso total do veículo em t;



$TC$  - custo de pneus por km;

$DP$  - depreciação, expressa como uma fração do preço do veículo novo;

$Ym$  - idade do veículo em meses.

- o consumo de óleo lubrificante foi considerado constante, 1,55 l/1000 km de remonta mais 2,4 l/1000 km em trocas quando em estradas asfaltadas, em estradas de terra o consumo seria duas vezes maior.

ABAYNAYAKA *et al.* (1976) desenvolveram tabelas para estimar os custos de operação de veículos em estradas rurais - com tráfego livre e de pequeno volume - de países em desenvolvimento. Foram utilizados dados de pesquisa desenvolvida no Quênia (HIDE *et al.*, 1975) com o objetivo de fornecer subsídios para estudos de viabilidade de implantação de estradas. Os custos foram estimados para diferentes geometrias de estradas, condições de superfície, altitude e veículos de diversos tipos com preços de aquisição, idade, capacidade de carga e potência do motor variados. Na estimativa da velocidade média e dos custos de operação dos veículos, utiliza-se as seguintes variáveis:

- aclave da estrada (m/km) - RS;
- declive da estrada (m/km) - F;
- curvatura horizontal (graus/km) - C;
- rugosidade da superfície (mm/km) - R;
- altitude (m) - A;
- umidade da superfície (%) - M;
- profundidade das trilhas de trânsito (mm) - RD;
- espessura de material solto na superfície (mm) ;
- largura da estrada (m) - W;
- peso bruto do veículo (t);
- relação potência /peso (hp/t) - PW;
- idade do veículo (anos);
- preço do veículo (quando adquirido pelo usuário);
- uso do veículo (km).

Para estimar a velocidade média ( $V$ ) em km/h de veículos de carga médios e pesados, os autores sugerem o uso das seguintes equações empíricas:

para estradas asfaltadas com largura superior a 5m:

$$V = 48,0 - 0,519RS + 0,030F - 0,058C - 0,0042A + 1,114PW \quad (10)$$

para estradas asfaltadas com largura inferior a 5m:

$$V = 48,0 - 0,519RS + 0,030F - 0,058C - 0,0042A + 1,114PW - 3,29(5,0 - W) \quad (11)$$

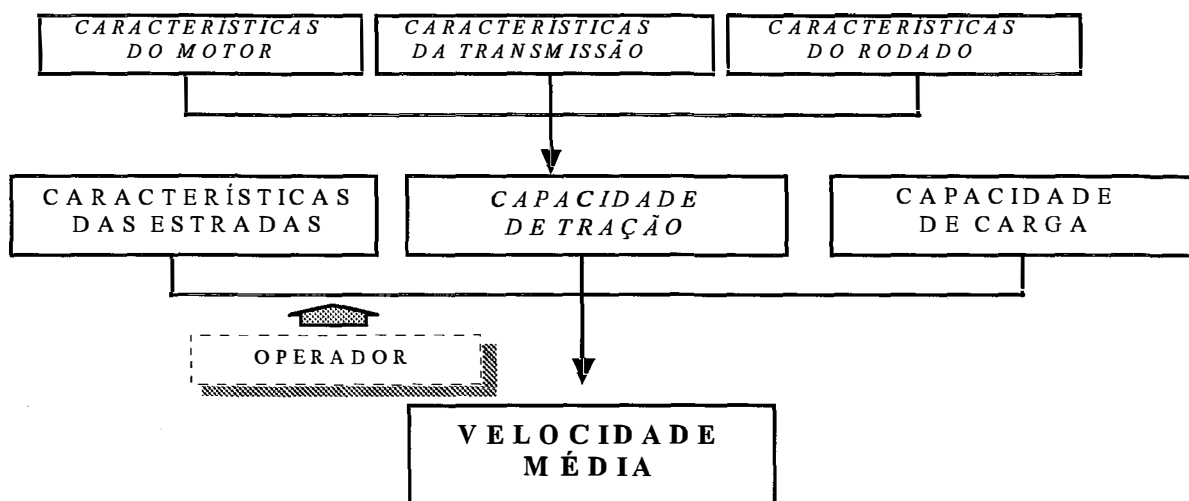
para estradas de terra com largura superior a 5m:

$$V = 49,2 - 0,433RS + 0,004F - 0,061C - 0,0006R - 0,22M - 0,27RD + 1,114PW \quad (12)$$

para estradas de terra com largura inferior a 5m:

$$V = 49,2 - 0,433RS + 0,004F - 0,061C - 0,0006R - 0,22M - 0,27RD + 1,114PW - 6,36(5,0 - W) \quad (13)$$

A Figura 4 apresenta o fluxograma de cálculo da velocidade média através de modelo físico, indicando a influência do fator humano na relação das características das estradas com a capacidade de tração calculada. Tal situação não é prevista nos modelos puramente físicos, no entanto alguns autores incluem nos modelos levantamentos feitos em trechos de estrada visando suprir essa deficiência.



**Figura 4** - Fluxograma simplificado de modelagem física para cálculo da velocidade média.

MILAN (1992) estudando o sistema mecanizado de produção de cana-de-açúcar no Brasil utiliza as equações desenvolvidas por ABAYNAYAKA *et al* (1976) para calcular a velocidade média dos caminhões no transporte da cana. Nesse estudo foi considerada a distância média da usina até o centro de cada fazenda, provocando erro na estimativa da velocidade. Esse erro foi corrigido somando-se o tempo gasto em estradas de acesso até o talhão. Esse tempo foi obtido considerando-se uma distância média de 800 m percorrida em estradas de acesso a uma velocidade de 18,5 km/h. Após esse ajuste do cálculo da velocidade foi verificada uma correlação de 74% entre os dados observados e os dados estimados. No cálculo do consumo de combustível dos caminhões, o autor utiliza as equações de ABAYNAYAKA *et al* (1976) para cálculo do consumo em estradas. Esse modelo teve uma boa aproximação para veículos de 15 e 30 t de carga, no entanto para veículos de 45 t o consumo foi superestimado.

A dificuldade de obtenção de dados reais de custos de sistemas de transporte e de sistemas mecanizados agrícolas é a principal restrição para análise de investimentos e para cálculo de lucratividade. Para suprir essa necessidade CROSSLEY (1988) sugere a alternativa da modelagem matemática. Na simulação dos custos de transporte, são necessárias as seguintes informações: características dos veículos, condições de operação

dos veículos, e método de análise que combine os dois grupos anteriores de informações de forma lógica e realista. O software para planejamento do transporte pode ser usado tanto para estimar a lucratividade de um sistema já implantado quanto para estimar a relação custo / benefício de um determinado investimento. No planejamento do sistema mecanizado, a capacidade operacional de uma máquina depende da potência disponível para tracionar o implemento, do conforto do operador (ruídos e vibrações) e sua sensibilidade à qualidade do serviço executado. Para o autor, a vantagem do modelo lógico, baseado nas relações entre as características do equipamento e a sua forma de utilização, é a não existência de limites para sua utilização, o que ocorre com modelos empíricos.

CROSSLEY (1980) simulou os custos operacionais de veículos de transporte de cargas através da conjugação de um modelo para simulação do desempenho operacional dos veículos com outro para cálculo dos custos fixos e variáveis. Os fatores que limitam a velocidade média de um veículo são quatro: a velocidade para a qual foi projetada a transmissão do veículo, a combinação da resistência ao rolamento e do gradiente de aclive e declive em relação à potência disponível no motor, a rugosidade e a curvatura da estrada. No momento de se estimar a velocidade deve-se comparar as velocidades máximas possíveis à partir de cada parâmetro desses, escolhendo a menor delas.

Uma comparação feita por CROSSLEY (1982) entre os resultados obtidos no trabalho anterior com os apresentados por HIDE *et al* (1975), no que se refere ao desempenho e custos de veículos de transporte com capacidade de carga de 1t até 4,7 t em estradas (asfalto e terra), mostrou uma grande similaridade entre os dados.

Para seleção de equipamentos de transporte, CROSSLEY (1985) propôs a utilização de um software maximizando a relação lucratividade e benefícios / custos operacionais. Para isso, utilizou a simulação por ele desenvolvida em 1980 com algumas melhorias e refinamentos. Apesar de tratar-se de um modelo físico, a velocidade máxima em curvas é determinada através de levantamentos. O mesmo ocorre em relação à rugosidade da superfície, já que em ambos os casos a velocidade depende da sensibilidade de conforto e segurança do motorista.

LOEWER *et al* (1979) desenvolveram um modelo computacional visando otimizar a seleção de equipamentos para as diversas alternativas possíveis dentro de um sistema de colheita e transporte de cana-de-açúcar. Tal modelo considera a necessidades de mão-de-obra e os custos fixos, variáveis e indiretos, calculando o custo total. São considerados custos indiretos as perdas de qualidade e de volume de matéria-prima (cana). Esses custos atingiram 11,6% do custo total da colheita e transporte. O transporte representa 60% do custo total, sendo portanto a operação que oferece maiores oportunidades para redução do custo total.

Tomando o estudo de FIGUEIREDO FILHO (1986) como base, FIGUEIREDO FILHO & ARRAES (1988), adicionaram a análise de custos à de desempenho operacional dos sistemas de colheita, procedendo em seguida a uma análise de sensibilidade de diversos fatores. Considerando-se o carregamento isoladamente, destacam-se os fatores eficiência operacional e capacidade operacional efetiva, que com um aumento de 1% leva a uma redução de 0,99% nos custos da operação. No caso do transporte da cana para a indústria, a carga útil transportada evidencia-se como o parâmetro mais sensível na redução de custos - 0,99% de redução para 1% de acréscimo - enquanto o consumo e o preço do combustível como o parâmetro menos sensível para o aumento de custos - 0,25% de aumento para um acréscimo de 1%. Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os resultados obtidos pelos autores em termos do acréscimo (ou decréscimo) no custo final da operação de colheita de cana-de-açúcar ocasionado pelo aumento de 1% no parâmetro considerado.

**Tabela 5 - Carregamento mecânico: variação do custo total da operação em função de acréscimo de 1% no parâmetro considerado.**

<b>Descrição do Parâmetro</b>	<b>% de variação de custo (x 1000)</b>
<b>Custo do Operador</b>	329,8
<b>Valor Inicial do Equipamento</b>	263,8
<b>Preço do Diesel</b>	194,7
<b>Consumo de Combustível</b>	134,7
<b>Taxa Anual de Juros</b>	123,7
<b>Custo de Peças de Reposição</b>	112,1
<b>Custo de Lubrificantes</b>	109,0
<b>Tempo Diário de Manutenção</b>	41,0
<b>Custo da Mão-de-Obra de Oficina</b>	24,4
<b>Custo de Pneus</b>	20,8
<b>Custo de Impostos, Seguros e Taxas</b>	5,3
<b>Valor Residual do Equipamento</b>	-25,2
<b>Jornada de Trabalho</b>	-87,8
<b>Dias Úteis de Safra</b>	-119,5
<b>Vida Útil do Equipamento</b>	-146,7
<b>Quantidade de Cana Carregada</b>	-446,1
<b>Eficiência Operacional</b>	-990,1
<b>Capacidade Operacional Efetiva</b>	-990,1

Fonte: FIGUEIREDO FILHO & ARRAES (1988).

CROSSLEY (1987) utilizou o modelo por ele desenvolvido (CROSSLEY, 1985) para analisar um sistema de transporte de cana-de-açúcar e verificar a viabilidade econômica de se asfaltar as estradas utilizadas. A obtenção de dados confiáveis foi particularmente difícil para itens como peças de reposição (incluindo estoques), eficiência do sistema e custo do capital. Foram detectados fatores que afetaram o custo da cana transportada (estoques, manutenção e custo de capital), outros que afetaram o número de equipamentos necessários (eficiência, tempos de carregamento e descarregamento e

tempos perdidos) e alguns que afetaram ambos (resistência ao rolamento e gradiente de aclave e declive das estradas). A pavimentação das estradas não foi considerada economicamente viável.

**Tabela 6** - Transporte para a Usina: variação do custo total da operação em função de acréscimo de 1% no parâmetro considerado.

<b>Descrição do Parâmetro</b>	<b>% de variação de custo (x 1000)</b>
<b>Preço do Diesel</b>	260,7
<b>Consumo de Combustível</b>	260,7
<b>Valor Inicial do Veículo</b>	228,6
<b>Custo do Operador</b>	216,0
<b>Taxa Anual de Juros</b>	177,8
<b>Tempo Auxiliar / Viagem</b>	147,7
<b>Custo de Pneus</b>	132,3
<b>Tempo Perdido / Viagem</b>	123,1
<b>Valor Inicial da Julieta</b>	76,2
<b>Custo de Peças de Reposição</b>	37,0
<b>Tempo Diário de Manutenção</b>	36,3
<b>Custo de Lubrificantes</b>	21,3
<b>Custo da Mão-de-Obra de Oficina</b>	15,6
<b>Custo de Impostos, Seguros e Taxas</b>	12,3
<b>Valor Residual da Julieta</b>	-3,7
<b>Valor Residual do Veículo</b>	-11,3
<b>Velocidade em Estradas de Terra Secundárias (carregado / vazio)</b>	-22,9
<b>Vida Útil da Julieta</b>	-48,7
<b>Velocidade em Estradas de Terra Primárias (carregado / vazio)</b>	-50,1
<b>Velocidade em Estradas de Asfalto (carregado / vazio)</b>	-53,6
<b>Vida Útil do Veículo</b>	-84,4
<b>Velocidade Média</b>	-126,5
<b>Jornada de Trabalho</b>	-159,9
<b>Dias Úteis de Safra</b>	-180,7
<b>Carga do Veículo</b>	-990,1

Fonte: FIGUEIREDO FILHO & ARRAES (1988).

Em estudo já citado anteriormente, MILAN (1992) desenvolveu uma análise de sensibilidade do custo de carregamento, reboque e transporte à variação de diversos parâmetros e para três sistemas diferentes: sistema A com distância de 10 km, B com

distância de 30 km e C com 50 km. Os fatores que mais oneraram o custo foram o custo inicial dos equipamentos e o custo de manutenção dos caminhões, para os três sistemas. Em relação à redução de custos, o aumento da capacidade de carga dos caminhões foi o fator mais relevante nos sistemas B e C, enquanto no sistema A os fatores mais relevantes foram o aumento da eficiência gerencial e da capacidade de campo.

O sistema mecanizado agrícola de uma usina foi analisado por BRAITHWAITE (1989), principalmente em termos de planejamento do sistema como um todo. Os fatores principais a serem considerados no planejamento são: seleção dos equipamentos, compra de equipamentos e renovação da frota, manutenção e eficiência e produtividade. Tais fatores merecem especial atenção não só por afetarem o desempenho do sistema mas, principalmente, por influenciarem fortemente o custo operacional do maquinário agrícola.

### 2.3. Cálculo de custos

Nos estudos de custos de produtos agrícolas, a parcela referente à mecanização é calculada da seguinte forma: calcula-se separadamente o custo unitário (\$/hora, \$/dia, etc) de cada elemento (trator, implementos) que compõe o conjunto mecanizado a ser utilizado para executar certa operação. A seguir multiplica-se este custo unitário pelo coeficiente técnico<sup>5</sup> de cada elemento e somam-se os resultados para se obter o custo médio da operação (\$/ha). (NORONHA, 1991)

No mesmo estudo o autor lista os componentes de custo de um sistema mecanizado relativamente complexo:

- depreciação;
- juros;
- impostos, seguro e administração;
- combustível;
- abrigo (para máquinas, implementos, peças, etc);

---

<sup>5</sup> Coeficiente técnico é definido como a exigência física do elemento (fator de produção) por unidade de área (horas/hectare, por exemplo).



- lubrificantes;
- peças de reposição (incluindo pneus);
- serviços mecânicos;
- comboio (serviços de apoio no campo);
- salário e encargos sociais.

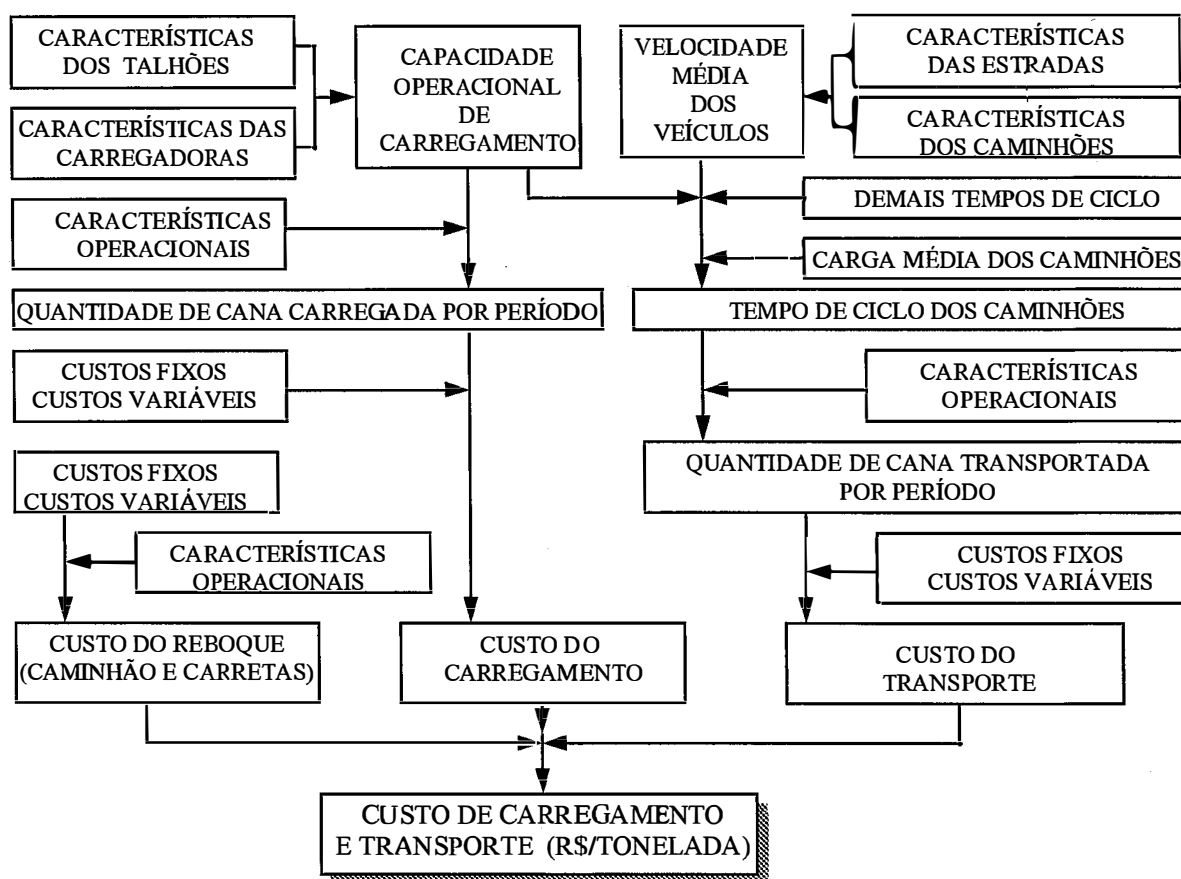
### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Introdução**

O modelo proposto foi desenvolvido com base em um sistema real de carregamento, reboque e transporte de cana-de-açúcar. Os dados foram levantados durante os meses de julho a dezembro de 1.994, nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar de uma Usina na região de Jaú (centro do Estado de São Paulo). O sistema de colheita utilizado é o corte manual com carregamento mecânico e transporte da cana até a indústria através de caminhões plataforma trucados sem reboque e com um (“romeu e julieta”) ou dois reboques (“treminhão”). Os solos são em sua grande maioria Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA) e Podzólicos Vermelho-Amarelos (PVA) com textura arenosa a médio-arenosa. O relevo é suave ondulado, com algumas áreas críticas de encosta, onde a declividade chega até a 24 %, sendo boa parte delas utilizadas para o cultivo de cana-de-açúcar. O espaçamento de plantio é de 1,10 m e as principais variedades cultivadas são a RB 72 - 454, SP 70 - 1143, SP 71-1406 e SP 71 - 6163, que juntas correspondem a 80% da área plantada.

### 3.2. Desenvolvimento do modelo

O fluxograma do modelo desenvolvido está na Figura 5, na qual a sequência de determinação de dados é definida.



**Figura 5** - Fluxograma do modelo de simulação de desempenho e custos.

A capacidade operacional de carregamento é definida pelas características dos talhões e das máquinas, que associada às características operacionais do sistema determinam a quantidade de cana carregada por período. Com esses dados chega-se ao

custo da operação de carregamento, através do cálculo dos custos fixos e variáveis de operação da máquina.

Paralelamente, são calculados os custos fixos e variáveis dos tratores que executam a operação de reboque de julietas. A capacidade operacional dessa operação é determinada pela capacidade operacional de carregamento, que associada aos custos e às características operacionais do sistema determinam o custo da operação.

As características das estradas e dos caminhões determinam a velocidade média dos veículos nas estradas. O tempo de ciclo dos caminhões é então determinado com base nessa velocidade média, na capacidade operacional de carregamento, na carga média dos caminhões e nos demais tempos de ciclo (engate e desengate de julietas, tempo de usina, tempos perdidos, etc.). As características operacionais do sistema de transporte e o tempo de ciclo dos caminhões determinam a quantidade de cana transportada por período que associada aos custos calculados para os veículos determinam o custo da operação de transporte.

A somatória do custo das três operações é o custo total de carregamento, reboque e transporte de cana-de-açúcar.

A modelagem do sistema foi feita com uso de planilha eletrônica MS EXCEL devido a simplicidade de programação e os grandes recursos disponíveis. Para tanto, foram desenvolvidas em paralelo, planilhas de cálculo de custos para os diversos equipamentos envolvidos nas operações e uma planilha para simulação do desempenho operacional do sistema. Os cálculos de custo foram feitos, sempre que possível, utilizando-se dados reais obtidos dos controles de frota da Usina onde foram realizadas as amostragens para simulação de desempenho. Fatores de custo não disponíveis foram calculados a partir de metodologias consagradas, procurando-se utilizar aquelas que mais se adaptam à situação estudada, como detalhado nos itens 3.2.1 e 3.2.2.

Foi feita a opção de se desenvolver equações empíricas para determinação dos principais fatores de desempenho dentro das operações de carregamento e transporte, ou seja, capacidade operacional de carregamento em toneladas por hora (t/h) e velocidade média dos caminhões em quilômetros por hora (km/h). Essa escolha foi feita visando uma real possibilidade de utilização prática do modelo no planejamento de colheita de uma

unidade produtora. Para tanto foram levantados quais os principais fatores que influenciariam o desempenho das operações de carregamento e transporte de cana-de-açúcar, chegando aos seguintes itens:

- carregamento -
  1. relevo do terreno;
  2. produtividade agrícola da cultura;
  3. estágio de corte;
  4. variedade da cana;
  5. comprimento das ruas de plantio;
  6. potência do motor da carregadora;
  7. capacidade da garra da carregadora;
  8. ano de fabricação da carregadora;
  
- transporte -
  1. tipo de piso da estrada;
  2. distância total;
  3. distância em aclave;
  4. distância em declive;
  5. curvatura da estrada;
  6. largura da estrada;
  7. qualidade do piso;
  8. potência do motor do caminhão;
  9. peso bruto do caminhão ou da composição;
  10. número de veículos da composição;
  11. ano de fabricação do caminhão.

Foram então feitas medições de tempos de carregamento e de viagem utilizando a metodologia descrita nos itens 3.2.1 e 3.2.2. Procurou-se sempre utilizar parâmetros de determinação da velocidade média e da capacidade operacional que fossem de simples mensuração para facilitar a aplicação prática do modelo.

### 3.2.1. Determinação do ciclo das carregadoras e tratores de reboque

Foram feitas amostragens de tempos de carregamento, dividindo-se os tempos da seguinte maneira:

- tempo efetivo de carregamento;
- tempo de manobras;
- tempo de amarração da carga e reboque até os carreadores.

O tempo efetivo de carregamento foi considerado como sendo o tempo em que a máquina está efetivamente trabalhando na operação de carregamento, englobando o tempo de deslocamento na leira de cana, o tempo gasto na formação do feixe de cana, o tempo de levantamento e deslocamento lateral deste feixe até o caminhão e colocação da cana na carroceria além do tempo de retorno da garra até sua posição normal. Eventuais arrumações da carga feitas pela carregadora também foram computadas como tempo efetivo. O tempo de manobras é o tempo gasto em manobras de cabeceira e mudanças de leiras durante o carregamento de um mesmo veículo. O tempo de amarração da carga e reboque até o carreador é o tempo compreendido entre o final do carregamento efetivo e a saída do veículo do talhão de cana, durante o qual é feita a amarração da carga (pelo motorista do caminhão ou pelo tratorista do trator de reboque no caso das carretas) e a retirada do veículo do talhão com o auxílio ou não de um trator para rebocá-lo.

Para medição desses tempos foram utilizados cronômetros digitais, sendo os tempos anotados com precisão de segundos.

Também foram feitas medições de tempo visando obter o tempo de ciclo de cada tipo de máquina para caracteriza-las. O ciclo considerado inicia-se quando a máquina está com a garra posicionada na frente do trator, abaixada, com o feixe de cana já formado e inicia seu movimento para colocar o feixe sobre o caminhão. Na sequência, a garra é erguida, gira 90°, abaixa um pouco até deixar cair o feixe de cana sobre o caminhão (ou Julieta), sobe novamente, gira até voltar na frente do trator e abaixa. O ciclo termina quando a garra atinge a posição que estava no início da medição. Todas essas operações ocorrem com a máquina parada (velocidade zero).

As carregadoras de cana-de-açúcar utilizadas pela usina estavam equipadas com rastelos convencionais e rastelos rotativos, portanto o corte para as primeiras era feito deixando a cana amontoada e para as segundas cana esteirada

O tempo de ciclo de carregamento ( $T_{cc}$ ) foi calculado através da seguinte equação:

$$T_{cc} = T_{ec} + T_{mc} + T_{arc} + T_{dc} + T_{pc} \quad (14)$$

onde:  $T_{ec}$  - tempo efetivo de carregamento;

$T_{mc}$  - tempo de manobras;

$T_{arc}$  - tempo de amarração e reboque;

$T_{dc}$  - tempo de deslocamento para entrada na palhada;

$T_{pc}$  - tempo perdido.

Os tempos  $T_{ec}$  e  $T_{mc}$  são obtidos através da equação empírica que calcula a capacidade operacional de carregamento e da capacidade do caminhão ou da julieta que está sendo carregada. O tempo de amarração e reboque é definido pelo usuário do modelo através de faixas, assim como o  $T_{dc}$  e o  $T_{pc}$  que dependem de uma entrada (“input”) que tem seu valor decidido pelo usuário do modelo. O tempo de amarração e reboque é considerado no tempo de ciclo de carregamento porque no sistema analisado o operador da carregadora de cana auxilia na amarração da carga.

Para obter a equação empírica que indica a capacidade operacional de carregamento, foram utilizados apenas os tempos de carregamento efetivo e de manobras, já que o tempo de amarração e reboque é muito variável, não sendo possível predizê-lo em função dos parâmetros que estão sendo medidos. Os tempos de amarração e reboque foram então analisados estatisticamente e separados em três faixas - lento, médio e rápido - sendo a faixa intermediária o intervalo de tempo localizado entre a média menos o desvio padrão e a média mais o desvio padrão e as outras duas faixas entre o maior dado registrado e o limite superior da faixa média (lento) e o menor dado registrado e o limite inferior da faixa média (rápido). Para cada faixa foi então calculada a média aritmética entre os seus dois extremos, sendo esses valores utilizados no modelo.

O mesmo procedimento foi utilizado para calcular o tempo necessário para engate das julietas, sendo considerado o mesmo tempo para caminhões com uma ou duas julietas, já que o engate de uma julietas na outra é feito pelos tratores de reboque. O caminhão engata as duas de uma só vez.

Os dados de tempo para engate das julietas também foram utilizados no cálculo do tempo de ciclo dos tratores de reboque. O tempo de ciclo desses tratores ( $T_{cr}$ ) foi calculado conforme a seguinte equação:

$$T_{cr} = T_{ec} + T_{mc} + T_{arc} + T_{er} + T_{dr} + T_{pr} \quad (15)$$

onde:  $T_{ec}$  - tempo efetivo de carregamento;

$T_{mc}$  - tempo de manobras;

$T_{arc}$  - tempo de amarração e reboque;

$T_{er}$  - tempo para engate das julietas (duas vezes: engate/desengate);

$T_{dr}$  - tempo de deslocamento para entrada na palhada;

$T_{pr}$  - tempo perdido.

Os três primeiros tempos são iguais aos usados para as carregadoras. O 4º tempo é obtido das faixas estipuladas, devendo ser escolhida pelo usuário aquela que mais se adequa a sua realidade. O 5º e o 6º tempos são fornecidos ao modelo pelo usuário.

Os tempos de ciclo das carregadoras e dos tratores de reboque serão usados junto com as características operacionais do sistema (também definidas pelo usuário) para cálculo da quantidade de cana carregada por período.

O relevo do terreno participa da equação que calcula a capacidade operacional do carregamento (em t/h) na forma da declividade média do talhão, expressa em porcentagem. Para sua determinação foram utilizados mapas dos levantamentos planialtimétricos das zonas agrícolas da usina, em escala 1:10.000, nos quais aparecem os terraços erguidos a distâncias verticais que variam de 4 a 5 metros. Conhecida a distância vertical para construção dos terraços, foi feita uma medição para cada 30 ha de área, buscando determinar a declividade média de cada zona onde foram feitas as medições. Em áreas declivosas, com grande variações de relevo, o número de amostragens foi

aumentado para até uma amostragem a cada 10 ha. Dentro desses limites, o número de medições variou considerando-se a necessidade da obtenção de um número que caracterizasse a zona como um todo. As medições foram feitas medindo-se o valor da extensão de uma seção da área e o número de terraços existentes nessa seção. A porcentagem é obtida dividindo-se a distância vertical (em módulo) pela distância horizontal medida com o escalímetro. A declividade média da zona utilizada no modelo é a média aritmética das declividades medidas.

O comprimento de campo foi determinado nos mesmos mapas. Foi utilizado um curvímetro para acompanhar a curvatura dos terraços e posteriormente medir esse comprimento com o uso do escalímetro. Como a sulcação acompanha os terraços, esse comprimento medido se aproxima bastante do comprimento das linhas de plantio, ou seja das leiras de cana após o corte.

A produtividade agrícola foi obtida das estimativas feitas pelos administradores de área da empresa. A escolha de se utilizar a estimativa e não a produtividade agrícola real foi feita para que o modelo utilizasse as mesmas fontes de dados que deverão alimentá-lo no momento das simulações. Nas duas últimas safras a diferença entre a estimativa e os dados reais de produtividade agrícola não superou 3%, portanto os dados são muito próximos.

As características das carregadoras de cana foram imputadas conforme descrito no item 4.1.1.

### **3.2.2. Determinação do ciclo dos veículos de transporte**

O levantamento de tempos de percurso em estradas foi feito nos principais trechos, aqueles por onde são transportadas grandes quantidades de cana-de-açúcar. Para tanto, os percursos foram divididos em trechos considerados uniformes com relação às condições da estrada. Esses trechos foram então detalhadamente caracterizados com o levantamento dos fatores já citados no item 3.2. As medições de tempos de percurso



foram feitas ao acaso, tomando-se o cuidado de se obter dados dos diversos modelos de veículos em operação.

Algumas variáveis que caracterizam estradas e veículos foram transformadas, mostrando-se mais significantes em termos estatísticos:

- dividindo-se a distância vertical (m) pela distância total (km), obteve-se a rampa média, expressa em  $m/km$ ;
- o peso da composição em t foi transformado em kgf e posteriormente dividido pela potência do motor (kw), obtendo-se a relação peso / potência, expressa em kgf/kw.

Para medição dos tempos de percurso, foram utilizados relógios digitais, sendo os intervalos de tempo anotados com precisão de minutos. As medições de distância foram feitas com o hodômetro de um automóvel, com precisão de centena de metros. O hodômetro foi previamente testado e apresentou um desvio médio de 5 metros a cada 200 metros percorridos. A classificação do tipo de piso foi feita através de classes, sendo a diferenciação de uma classe para outra muito clara, como pode ser observado nas Figuras 6 a 8 que são fotos de trechos de estradas de terra caracterizados respectivamente como piso ruim, médio e bom. A largura das estradas foi medida com trena, precisão de metros. Os dados de peso dos veículos foram obtidos na balança da Usina, com precisão de 5 kg.



**Figura 6** - Trecho de estrada de terra caracterizado como piso ruim.

Os tipos de veículos empregados no transporte de cana que tiveram seus tempos de viagem amostrados são:

1. caminhão 6x4, de 130 cv de potência, capacidade de carga de 18t;
2. caminhão 6x4 tracionando um reboque canavieiro de 7,0 a 8,0 m de comprimento (2 eixos), 160 a 254 cv de potência, capacidade de carga de 28 a 34 t;
3. caminhão 6x4 tracionando dois reboques canavieiros de 8,0 m de comprimento (2 eixos), 352 cv de potência, capacidade de carga de 55 t.



**Figura 7** - Trecho de estrada de terra caracterizado como piso médio.

O tempo de ciclo de transporte ( $T_{ct}$ ) foi obtido através da seguinte equação:

$$T_{ct} = T_{vi} + 2T_{er} + T_{ect} + T_{ec} + T_{mc} + T_{arc} + T_{ejt} + T_{vv} + T_{edt} + T_{ut} \quad (16)$$

onde:  $T_{vi}$  - tempo da viagem de ida (vazio);

$T_{er}$  - tempo de desengate da(s) julieta(s) e posterior engate (duas vezes);

$T_{ect}$  - tempo de espera para carregamento;

$T_{ec}$  - tempo efetivo de carregamento;

$T_{mc}$  - tempo de manobras no carregamento;

$T_{arc}$  - tempo para amarração da carga e reboque;

$T_{ejt}$  - tempo de espera da(s) julieta(s);

$T_{vv}$  - tempo da viagem de volta (carregado);

$T_{edt}$  - tempo de espera para descarregamento;

$T_{ut}$  - tempo na usina.



**Figura 8** - Trecho de estrada de terra caracterizado como piso bom.

Os tempos de viagem ( $T_{vi}$  e  $T_{vv}$ ) são calculados através da velocidade média - obtida com a equação empírica de velocidade - e da distância da frente de carregamento. Os tempos  $T_{er}$ ,  $T_{ec}$ ,  $T_{mc}$  e  $T_{arc}$  são os mesmos escolhidos para os ciclos das carregadoras e dos tratores de reboque. Os tempos de espera ( $T_{ect}$ ,  $T_{ejt}$  e  $T_{edt}$ ) são estipulados pelo usuário, assim como o tempo de usina ( $T_{ut}$ ), escolhido entre faixas pré-determinadas.

Para determinação das faixas do tempo de usina foram feitas medições do tempo gasto pelos diversos tipos de caminhões desde a entrada no pátio (pesagem do caminhão

carregado) até a saída (pesagem do caminhão vazio). Nessas medições foram utilizados cronômetros digitais e os valores de tempo anotados com precisão de minutos. Foram anotados tempos em diversas horas do dia (das 6 as 18 horas), porém não existem medições no período noturno. Os controles operacionais da empresa no entanto não apontam diferenças marcantes entre os tempos praticados durante o dia e a noite.

### **3.2.3. Cálculo de custos**

#### **3.2.3.1. Depreciação**

O método de cálculo da depreciação dos tratores e carregadoras escolhido foi o linear, pois para esse estudo não há necessidade de avaliar o seu comportamento ao longo do tempo mas sim calcular o seu custo total ao longo da vida útil do equipamento. Os valores finais para tratores foram obtidos do estudo de MOLINA (1994), considerando a substituição dos tratores de reboque ao final do quinto ano (46,44% do valor inicial) e os tratores das carregadoras ao final do oitavo ano (32,98% do valor inicial). Os implementos das carregadoras tiveram seu valor final considerado conforme o estudo de SHUKLA *et al.* (1973): zero, já ao final do quinto ano.

A depreciação dos caminhões também foi considerada linear, com valor final de 40% do valor inicial ao final do oitavo ano e para os reboques 40% ao final do décimo ano, sendo esses valores estimados à partir de observações do mercado nos últimos dois anos.

### 3.2.3.2. Remuneração do capital (juros)

A remuneração do capital investido em equipamentos foi calculada conforme BALASTREIRE (1987), através do capital médio investido:

$$J = [(P-S) / 2] \times I \quad (17)$$

onde:  $J$  - valor da remuneração do capital, em 1 ano (R\$);

$P$  - preço inicial do equipamento (R\$);

$S$  - valor final do equipamento (R\$);

$I$  - taxa anual de juros, considerada 12%.

### 3.2.3.3. Impostos, seguro e administração

Apesar da não incidência de impostos sobre as máquinas agrícolas, nos caminhões além dos impostos existem também taxas para licenças especiais de trânsito (para treminhões). Os valores considerados (ao ano, em percentagem do valor atual do equipamento) foram:

- tratores e carregadoras - 0%;
- caminhões simples e carga dupla - 0,4%;
- treminhões - 0,4% mais R\$ 4.200,00, referente à licença especial de trânsito.

Não foi considerado custo de seguro, já que não existe contratação de seguros de terceiros na empresa analisada. No entanto, a administração entende que existe a necessidade de se manter um saldo no caixa para cobrir custos de eventuais acidentes. Esse valor não é considerado significativo no fluxo de caixa da empresa, além de ser remunerado no mercado financeiro.

Foi considerada uma taxa de administração constante para todos os equipamentos da ordem de 5% dos custos fixos totais por ano. Valor estimado pela empresa.

#### **3.2.3.4. Combustível**

Foram considerados valores médios de consumo de combustível dos equipamentos obtidos do controle operacional da frota da usina:

- tratores de reboque - 10,0 l/h;
- carregadoras de cana 81 e 84 cv - 5,9 l/h;
- carregadoras de cana 110 cv - 6,5 l/h;
- caminhões carga simples 130 cv - 1,7 km/l;
- caminhões carga dupla 160 cv - 1,5 km/l;
- caminhões carga dupla 190 cv - 1,4 km/l;
- caminhões carga dupla 250 cv - 1,3 km/l;
- caminhões carga tripla 352 cv - 1,1 km/l;

#### **3.2.3.5. Abrigo (para máquinas, implementos, peças, etc)**

Não foram considerados custos de abrigo para os equipamentos, já que a empresa não dispõe de local específico para guarda dos mesmos. Durante o período de safra as máquinas e caminhões operam 24h, não necessitando de abrigo. Deveriam ser computados custos de armazenamento de peças de reposição, no entanto como tais custos não são considerados no momento do cálculo pela usina, também não foram considerados nesse estudo.

### 3.2.3.6. Lubrificantes

Conforme sugerido pela ASAE (1991), o custo de lubrificantes para os tratores de reboque foi considerado como 15% do custo do combustível. Para as carregadoras o valor considerado foi acrescido de R\$ 20,00 por 1000 t de cana carregada, índice calculado pela usina.

Para os caminhões, o consumo de óleo lubrificante foi considerado constante para estradas asfaltadas e estradas de terra. O cálculo foi feito dividindo-se a capacidade de cada compartimento (cárter, transmissão e eixos traseiros) pelo intervalo de troca utilizado na empresa. Para o óleo do motor foi adicionado um volume de reposição considerando uma remonta média de 0,5% do combustível consumido.

### 3.2.3.7. Manutenção - peças e mão-de-obra

O custo de manutenção dos tratores ao longo da sua vida útil foi calculado através do índice proposto por ASAE (1989), em termos de porcentagem do custo inicial:

- tratores de reboque - 100%;
- carregadoras - 100%.

O custo de manutenção dos caminhões foi estimado conforme proposto pela SCANIA (1991) no sistema de simulação de custos operacionais - eq. (18) e eq. (19).

O custo de peças de reposição foi obtido através da seguinte equação:

$$CP = (0,00477 / (K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5)) \times (Vr / 10.000) \quad (18)$$



O custo de mão-de-obra de manutenção foi calculado com a equação:

$$C_{mo} = ( 0,00202 / (K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5) ) \times (Vr / 10.000) \quad (19)$$

onde:  $CP$  - custo de peças de reposição, em R\$/km;

$C_{mo}$  - custo de mão-de-obra de manutenção, em R\$/km;

$K_1$  - coeficiente de estradas: boas = 1,00 ,

médias = 0,86,

ruins = 0,77;

$K_2$  - coeficiente de carga: até 25 t = 1,00 ,

de 25 a 30 t = 0,90 ,

mais de 30 t = 0,84;

$K_3$  - coeficiente de manutenção: boa = 1,00

média = 0,86,

ruim = 0,80;

$K_4$  - coeficiente de segmento de transporte: granel = 0,93;

$K_5$  - coeficiente de período de uso: 1 ano = 1,79 ,

2 anos = 1,66 ,

3 anos = 1,52 ,

4 anos = 1,41 ,

5 anos = 1,29 ,

6 anos = 1,20 ,

7 anos = 1,09 ,

8 anos = 1,00 ,

9 anos = 0,92 ,

10 anos = 0,86 ,

11 anos = 0,79 ,

12 anos = 0,73 .

*V<sub>r</sub>* - valor de referência : carga simples (tipo 1) = preço de 450.000 l de Diesel,  
 carga dupla (tipo 2) = preço de 570.000 l de Diesel,  
 carga dupla (tipos 3 ao 5) = preço de 630.000 l de Diesel,  
 carga tripla (tipo 6) = preço de 750.000 l de Diesel.

Para o coeficiente de estradas ( $K_1$ ), foi calculado um quarto valor para ser utilizado em estradas de terra ruins. Com os 3 coeficientes fornecidos foi calculada uma equação de regressão e, através dela, calculado o quarto coeficiente. Dessa forma os coeficientes iniciais são utilizados em estradas asfaltadas (boas, médias e ruins) e nas estradas de terra são utilizados os coeficientes de estrada média (quando o piso é bom), ruim (piso médio) e o calculado (piso ruim). Ou seja, o coeficiente é o mesmo para uma estrada asfaltada média e uma estrada de terra boa e também coincidem para estradas asfaltadas ruins e de terra média.

O valor de referência originalmente se referia a cavalos mecânicos 4x2, 6x2 e 6x4. Como os preços iniciais das composições apresentavam uma relação entre si semelhante à relação entre os preços iniciais dos cavalos mecânicos, optou-se por utilizar o valor de referência do cavalo mecânico 4x2 para os veículos carga dupla de menor porte e preço (tipo 2), do 6x2 para os demais veículos carga dupla (tipo 6) e do 6x4 para o veículo carga tripla. Apenas o veículo carga simples apresenta diferença grande, por isso o valor de referência foi obtido por regressão, assim como o coeficiente de estrada ( $K_1$ ).

### 3.2.3.8. Custo de pneus

O custo dos pneus ( $CP$ ), em R\$/km, foi calculado através da seguinte equação, determinada de acordo com o sistema de utilização de pneus praticado pela empresa:

$$CP = ((Npd \times ((\$pd + (Nrpd \times \$Rpd)) / Dpd) + (Npt \times ((\$pt + (Nrpt \times \$Rpt)) / Dpt) + ((Npi \times ((\$pi + (Nrpi \times \$Rpi)) / Dpi)) \quad (20)$$

onde:  $N_{pd}$  - número de pneus de direção;

$\$pd$  - preço do pneu de direção novo (R\$);

$N_{rpd}$  - número de recapagens dos pneus de direção;

$\$Rpd$  - preço da recapagem do pneu de direção (R\$);

$Dpd$  - durabilidade total do pneu de direção (km);

$N_{pt}$  - número de pneus de tração;

$\$pt$  - preço do pneu de tração novo (R\$);

$N_{rpt}$  - número de recapagens dos pneus de tração;

$\$Rpt$  - preço da recapagem do pneu de tração (R\$);

$Dpt$  - durabilidade total do pneu de tração (km);

$N_{pi}$  - número de pneus de direção;

$\$pi$  - preço do pneu do implemento novo (R\$);

$N_{rpi}$  - número de recapagens dos pneus do implemento;

$\$Rpi$  - preço da recapagem do pneu do implemento (R\$);

$Dpi$  - durabilidade total do pneu do implemento (km).

Foram utilizados dados de durabilidade de pneus existentes na empresa, e os preços médios de pneus novos e recauchutagem pagos pela empresa no ano de 1994:

- pneu 10.00 x 20" liso (direção e implementos) - R\$ 280,28;
- pneu 10.00 x 20" borrachudo (tração) - R\$ 316,93;
- pneu 11.00 x 22" liso (direção) - R\$ 378,38;
- pneu 11.00 x 22" borrachudo (tração) - R\$ 409,64;
- recauchutagem do pneu 10.00 x 20" - R\$ 65,71;
- recauchutagem do pneu 11.00 x 22" - R\$ 72,48;
- durabilidade média dos pneus da direção - 30.000 km;
- durabilidade média dos pneus da tração - 59.000 km;
- durabilidade média dos pneus em implementos - 60.000 km
- número de recapagens - duas.

### **3.2.3.9. Comboio (serviços de apoio no campo)**

Já foram incluídos na forma de gastos administrativos. Essa metodologia no entanto trabalha com valores médios, não permitindo avaliações melhores em função da distância da frente de corte. Apesar dessa restrição, é o método utilizado pela empresa para apropriação de custos, já que os comboios atendem todo o parque de máquinas sem distinção por operações.

### **3.2.3.10. Salário e encargos sociais**

Foram utilizados os salários médios praticados pela empresa para motoristas e tratoristas: R\$ 600,00 por mês durante a safra, incluindo prêmios de produção. Considerou-se 2,33 operadores por equipamento, de acordo com a escala de folga da empresa.

Os encargos sociais foram estimados em 85% dos salários brutos, conforme cálculos da empresa.

### **3.2.3.11. Valor inicial dos equipamentos**

O valor inicial dos equipamentos foi obtido de cotações de mercado feitas pela empresa em novembro / dezembro de 1994, para pagamento através de FINAME. Os preços levantados foram:

- tratores de reboque de 120 cv- R\$ 39.800,00;
- tratores de reboque de 140 cv - R\$ 51.750,00;
- carregadoras de cana 81 e 84 cv (trator e implemento) - R\$ 42.000,00;
- carregadoras de cana 110 cv - R\$ 47.000,00;

- caminhões simples (com carroceria) - R\$ 65.000,00;
- caminhões para um reboque (com carroceria) - R\$ 80.000,00;
- caminhões para dois reboques (com carroceria) - R\$ 102.000,00;
- reboques canavieiros (7,2m) - R\$ 12.000,00;
- reboques canavieiros (8,0m) - R\$ 15.000,00.

### **3.2.3.12. Uso anual dos equipamentos**

O uso anual dos equipamentos foi obtido das médias registradas no controle operacional da usina ao longo de cinco safras:

- tratores de reboque - 3.700 h;
- carregadoras de cana 81 e 84 cv (trator e implemento) - 2.100 h;
- carregadoras de cana 110 cv - 2.100 h;
- caminhões simples (com carroceria) -45.000 km;
- caminhões para um reboque (com carroceria) - 41.000 km;
- caminhões para dois reboques (com carroceria) - 36.000 km;
- reboques canavieiros - 24.000 km.

Com base nessa utilização anual foi calculada a utilização dos equipamentos na entre-safra através da subtração do uso total no ano menos o uso na safra obtido através dos cálculos feitos com o modelo com valores médios. Esse número de horas ou quilometragem rodada na entresafra foi então armazenado para ser somado ao total de horas (ou quilometragem) calculado pelo modelo nas diversas situações para obter a utilização anual em cada situação.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Com as amostras de carregamento e transporte obteve-se as equações empíricas, através da análise de regressão dos dados - os dados obtidos estão no Apêndice 2. Para aproximação das equações inicialmente utilizou-se a planilha MS EXCEL, onde a capacidade operacional ou a velocidade média foi plotada separadamente em função de cada fator. Nesses gráficos foram traçadas as linhas de tendência linear, polinomial (segundo e terceiro grau), logarítmica, exponencial e de potência para identificar qual delas mais se ajustava àquela sequência de dados. Eventuais transformações de dados foram então realizadas para se proceder a análise de regressão com o Software MINITAB.

Os dados obtidos através das equações empíricas são utilizados para calcular o tempo de carregamento dos veículos e os tempos de viagem entre a indústria e a lavoura e vice-versa. Os ciclos das carregadoras, dos tratores de reboque e dos caminhões foram então modelados, utilizando a planilha eletrônica.

Desenvolvido o modelo, o mesmo foi validado contrapondo os valores estimados com os custos apropriados pela empresa e outras produtoras de cana-de-açúcar. O modelo foi utilizado também para obtenção dos tipos de equipamentos mais apropriados para cada situação bem como para minimização do custo de colheita.

### **4.1. Construção e validação do modelo**

#### **4.1.1. Capacidade operacional de carregamento**

Não houve interesse em se caracterizar especificamente cada talhão ou mesmo o local exato do carregamento porque isso inviabilizaria a utilização do modelo posteriormente. Preferiu-se fazer uma determinação menos exata e mais genérica para

obter uma equação com possibilidade real de uso prático. A metodologia de determinação da declividade descrita no ítem 3.2.1. mostrou-se de fácil obtenção - factível para grandes áreas cultivadas, como são as usinas - ao mesmo tempo em que demonstra uma aproximação suficiente para os propósitos do modelo.

As características das máquinas utilizadas no carregamento aparecem na Tabela 7. Para determinação da capacidade operacional de carregamento foram utilizados o tempo de ciclo e a potência do motor. Os tempos de ciclo foram obtidos à partir de 15 medições para cada tipo de máquina, onde foram encontrados os tempos médios expressos na Tabela 7, com coeficientes de variação menores que 10%.

A equação obtida para estimar a capacidade operacional de carregamento (**CO**), expressa em toneladas de cana carregadas por hora (t/h<sup>lx</sup>), é:

$$CO = 297 - 0,193CC + 0,000226(CC)^2 + 0,296PA - 2,04C - 8,39 TC + 115/D + 0,431 P \quad (21)$$

onde: *CC* - comprimento de campo (m);

*PA* - produtividade agrícola (t/ha);

*C* - número do corte;

*TC* - tempo de ciclo da máquina (s);

*D* - declividade média do talhão (%);

*P* - potência do motor da máquina (kw).

Tabela 7 - Caracterização da frota de carregadoras de cana.

<b>Característica</b>	<b>Carregadora 1</b>	<b>Carregadora 2</b>	<b>Carregadora 3</b>
<i>Marca do Trator</i>	CBT	Ford	CBT
<i>Modelo do Trator</i>	8440	6600	8060
<i>Potência do Motor (cv)</i>	81	84	110
<i>Tempo Média (s)</i>	33,0	31,6	30,6
<i>de Ciclo C.V. (%)</i>	9,8	8,5	6,4
<i>Marca do Implemento</i>	Motocana	Santal	Motocana
<i>Capacidade da Garra (kg)</i>	500	500	1.200
<i>Ano de Fabricação</i>	1990	1979	1992
<i>Tipo de Rastelo</i>	rotativo	convencional	rotativo
<i>Quantidade</i>	03	08	05

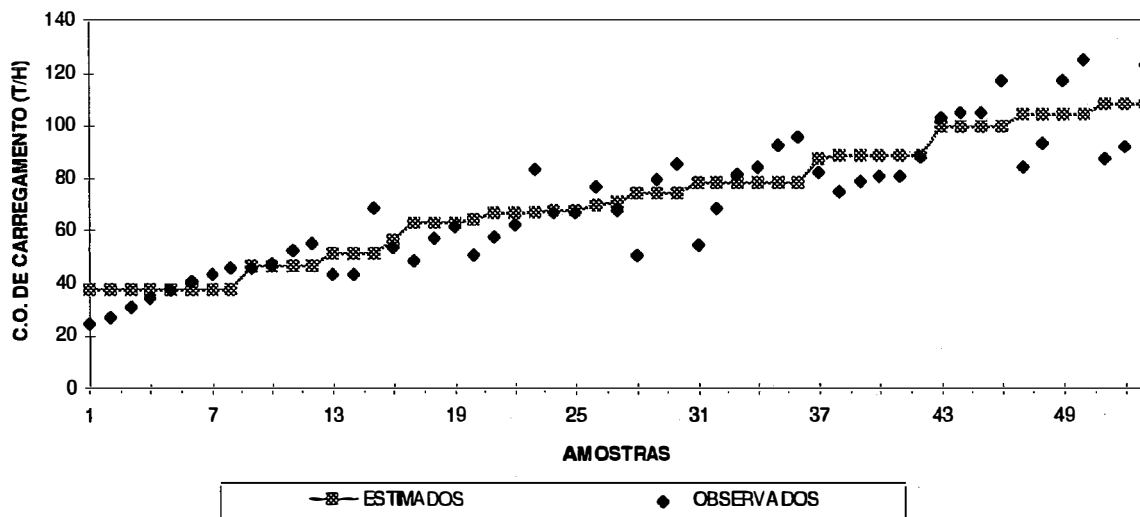
Fonte: Arquivos do controle operacional da frota da usina e medições feitas.

Para essa equação a análise estatística mostra um índice de correlação  $R^2 = 75,9 \%$ , com  $s = 12,33$ . Os dados com os quais foi obtida a equação são apresentados no Apêndice 2. Nas figuras 9 e 10 estão os gráficos que correlacionam os dados estimados através desta equação com as amostras obtidas no campo.

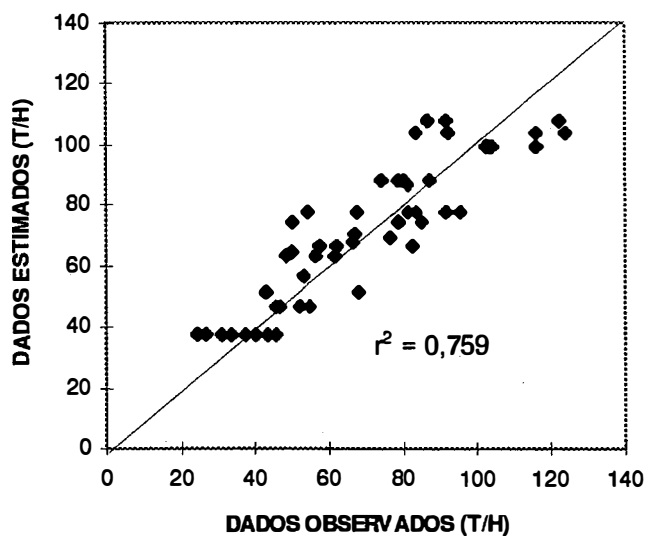
As variáveis referentes às condições de campo no local de carregamento devem ser consideradas dentro dos seguintes intervalos, nos quais foram feitas as medições:

- comprimento de campo: de 110m até 700m;
- produtividade agrícola: de 60 t/ha até 125 t/ha;
- número do corte: de 1 até 9;
- declividade média do talhão: 3,0 % até 24,4 %.





**Figura 9** - Dados obtidos nas amostragens de campo (observados) versus dados estimados através da equação empírica calculada para o carregamento mecânico -Eq (21).



**Figura 10** - Correlação entre os dados estimados e medidos nas observações de campo.

A análise estatística das variáveis utilizadas na equação e sua caracterização estão na Tabela 8. Foram utilizadas 53 medições de tempo de carregamento (amostras colhidas ao acaso) para regressão - vide Apêndice 2.

**Tabela 8** - Caracterização e análise estatística das variáveis da equação de capacidade operacional de carregamento - Eq (21).

<i>Variável</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Desvio Padrão da Média</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<b>Declividade (%)</b>	10,00	8,00	5,98	0,82	3,00	24,40
<b>Comprimento de Campo (m)</b>	315,60	310,00	161,30	22,2	110,00	700,00
<b>Produtividade Agrícola (t/ha)</b>	84,96	77,00	22,78	3,13	60,00	125,00
<b>Número do Corte</b>					1,00	9,00
<b>Potência do Motor (cv)</b>					81,00	110,00
<b>Tempo de Ciclo (s)</b>					30,6	33,00

Através da análise matemática da eq. (21) observa-se que para o comprimento de campo ocorre uma redução da capacidade operacional no intervalo de 110 m até 427 m (ponto mínimo) e daí até os 700 m, aumento. É a única variável que não corresponde à expectativa, já que esperava-se um comportamento inverso, uma vez que o tempo de manobra está embutido na capacidade operacional. Considerando-se a produtividade média verificada na empresa na safra 94/95 (77t/ha), o ponto de 427m é exatamente onde atinge-se a quantidade de cana necessária para carregar um caminhão: 18t. A interpretação de tal comportamento é difícil, já que podem haver vários fatores interferindo no ritmo de carregamento além desses que se mostraram estatisticamente significativos. Um dos fatores que poderia influir é a própria declividade, no entanto a correlação entre declividade e comprimento de campo é muito pequena - menos de 10%.

Esse fator, entretanto, não invalida a utilização da equação para estimar a capacidade operacional de carregamento. A figura 9 ilustra bem a aproximação obtida, principalmente no intervalo de 40 a 110 t/h, mostrando que esse método de cálculo propicia uma aproximação maior que o uso de valores médios. Fora desse intervalo os erros aumentam, sendo que abaixo das 40 t/h o modelo subestima o resultado enquanto acima das 110 t/h o modelo o superestima.

As variáveis utilizadas na equação também atendem ao objetivo de trabalhar com parâmetros de fácil determinação, garantindo a viabilidade do uso prático do modelo.

#### 4.1.2. Determinação do ciclo e custo de carregamento

Para determinar a duração do ciclo de carregamento é preciso estimar valores para todas as etapas do ciclo. O tempo de carregamento efetivo (incluindo manobras) foi obtido dividindo-se a capacidade de carga do veículo usado para transporte pela capacidade operacional estimada conforme o item 4.1.1.

O tempo de amarração e reboque utilizado no modelo foi estimado com base em dados obtidos nas medições de campo. As faixas de tempo a serem utilizadas estão na Tabela 9, cabendo ao usuário do modelo determinar qual o ritmo mais se encaixa a realidade.

**Tabela 9-** Faixas de tempo para amarração e reboque, em minutos.

	<i>Faixas de Tempo (m)</i>	<i>Tempo utilizado (m)</i>
<b>Média</b>	7,3	-
<b>Desvio Padrão</b>	6,4	-
<b>Lento</b>	13,7 a 23,6	18,6
<b>Médio</b>	0,9 a 13,6	7,3
<b>Rápido</b>	0,0 a 0,8	0,4

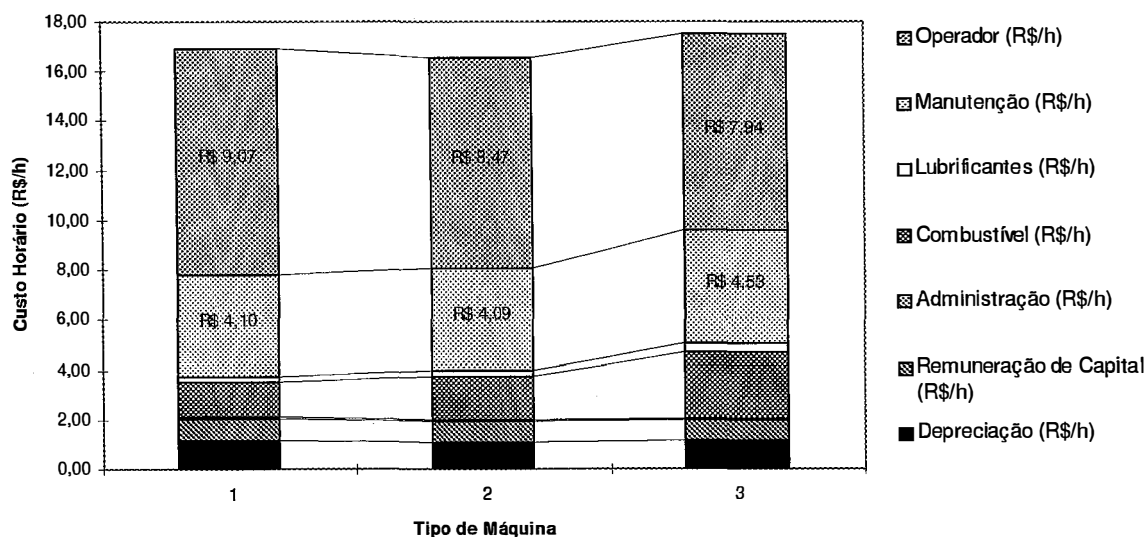
O tempo de deslocamento para entrada na palhada e os tempos perdidos são de livre determinação do usuário do modelo, já que dependem principalmente de fatores gerenciais.

Substituídos todos esses dados no modelo, automaticamente serão calculados o tempo total de ciclo e a capacidade diária de carregamento por equipamento. Esses dados são a base para os cálculos de custo da colheita, sendo úteis também no momento de planejamento e dimensionamento do sistema de colheita.

Dados obtidos em outras 5 usinas da região mostram que todas trabalham com um custo de carregamento entre R\$ 0,50 e R\$ 0,55 por tonelada, apontando para um tempo de espera das carregadoras próximo a 20 minutos. Esse tempo de espera confirma a tendência ao superdimensionamento da frota de carregadoras. As empresas, no entanto, trabalham com um custo médio, não se preocupando em quantificar as variações aqui demonstradas, talvez pela dificuldade em apropriar os custos em função de tantas variáveis.

A composição do custo horário das carregadoras está na Figura 11. Verifica-se a grande participação do custo da mão-de-obra no custo total da operação. Esse custo é constante para todos os equipamentos ao longo da safra. Só ocorre uma pequena redução nesse custo no final da safra (outubro e novembro) quando os tempos perdidos das máquinas se devem a fatores climáticos, permitindo a dispensa dos operadores e a consequente redução do número de horas extras pagas aos operadores.

Para essa simulação de custos foi utilizado um ritmo médio de carregamento, com 5 minutos de tempo de espera para carregamento, 350m de comprimento de campo e 5% de declividade. Nessa situação o custo horário total para a máquina tipo 1 foi igual a R\$ 16,89, para o tipo 2, R\$ 16,52 e tipo 3, R\$ 17,52. O custo por tonelada de cana carregada foi o seguinte: tipo 1 - R\$ 0,43; tipo 2 - R\$ 0,46; tipo 3 - R\$ 0,41.



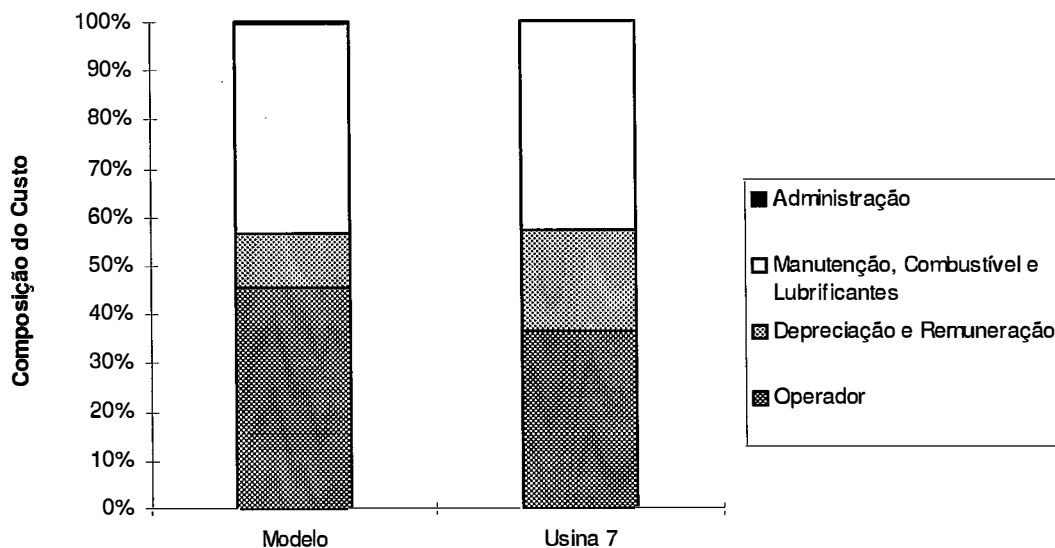
**Figura 11** - Composição do custo horário das carregadoras de cana. Os tipos de máquina 1, 2 e 3 são, respectivamente, as carregadoras de 81, 84 e 110 cv de potência no motor.

Verificou-se a aproximação do custo calculado pelo modelo para o carregamento de cana através da comparação com dados fornecidos pela própria empresa e também por outras usinas. Esses dados são apresentados na Tabela 10 onde a Usina 1 é a empresa onde o modelo foi desenvolvido, as usinas de 2 a 5 estão na mesma região da primeira, a sexta está na região de Ribeirão Preto e a sétima próxima a São José do Rio Preto. Os custos das usinas 6 e 7 foram obtidos na safra 95/96 enquanto os demais na safra 94/95, que também serviu de base para os parâmetros do modelo. Dados de custos de máquinas do tipo 2 não eram disponíveis.

**Tabela 10** - Comparação do custo médio de carregamento (em R\$/T) de sete diferentes empresas com os valores estimados pelo modelo para as máquinas tipo 1 e 3.

<i>Custo Operacional</i>	<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>	<i>Usina 5</i>	<i>Usina 6</i>	<i>Usina 7</i>	<i>Modelo Máq 1</i>	<i>Modelo Máq 3</i>
<b>Carregamento (R\$/t de cana)</b>	0,45	0,49	0,48	0,50	0,55	0,47	0,40	0,43	0,41

A composição do custo de carregamento foi fornecida apenas pela usina 7 (que não considera custos de administração), e sua comparação com os valores estimados através do modelo desenvolvido está na Figura 12. Apesar de valores muito próximos (R\$ 0,41 do modelo e R\$ 0,40 da usina 7) existem algumas diferenças na composição dos custos, principalmente entre os itens operador e depreciação e remuneração. A proximidade dos custos variáveis (manutenção, combustível e lubrificantes) sugere uma diferença no custo de oportunidade do capital (maior na usina que no modelo) e também na eficiência de utilização da máquina. A maior eficiência na usina 7 reduz a participação do custo da mão-de-obra operacional mas não é suficiente para reduzir o custo financeiro (depreciação e remuneração do capital) gerado pelo maior custo de oportunidade. Para estimativa do custo pelo modelo foi considerado um custo de oportunidade do capital de 12% ao ano, tempos médios (conforme Tabela 9) e 10 minutos de tempo de espera por veículos de transporte.



**Figura 12** - Comparação da composição do custo de carregamento estimado pelo modelo e o custo medido pela Usina 7.

#### 4.1.3. Determinação do tempo de ciclo dos tratores de reboque

Os tratores utilizados pela usina que foram considerados no modelo estão caracterizados na Tabela 11.

**Tabela 11** - Caracterização dos tratores utilizados para reboque de julietas.

<i><b>Tipo do Trator</b></i>	<i><b>1</b></i>	<i><b>2</b></i>
<b>Potência do Motor (cv)</b>	120	140
<b>Tração Dianteira Auxiliar</b>	Sim	Sim
<b>Marca</b>	Valmet	Valmet
<b>Modelo</b>	128	1580
<b>Ano de Fabricação</b>	1984	1993

As faixas de tempo calculadas para engate das julietas e os tempos utilizados no modelo estão na Tabela 12. O tempo de desengate utilizado é igual ao de engate. O tempo de entrada na palhada e de espera devem ser informados pelo usuário do modelo, não havendo pré-determinação de faixas. A variação desses tempos depende principalmente de fatores gerenciais e influencia de forma significativa o tempo total de ciclo dos tratores de reboque.

**Tabela 12** - Faixas de tempo para engate de julietas, em minutos.

	<i>Faixas de Tempo (m)</i>	<i>Tempo utilizado (m)</i>
<b>Média</b>	3,9	-
<b>Desvio Padrão</b>	2,1	-
<b>Lento</b>	6,0 a 7,0	6,5
<b>Médio</b>	1,8 a 5,9	3,9
<b>Rápido</b>	0,0 a 1,7	0,9

Calculado o tempo de ciclo, utilizando as características operacionais informadas pelo usuário do modelo (horas de trabalho por dia e eficiência operacional) o modelo calcula o número de viagens rebocadas por dia para um trator. Esse dado é fundamental no momento do cálculo do custo da colheita, já que tem grande influência sobre o custo do reboque.

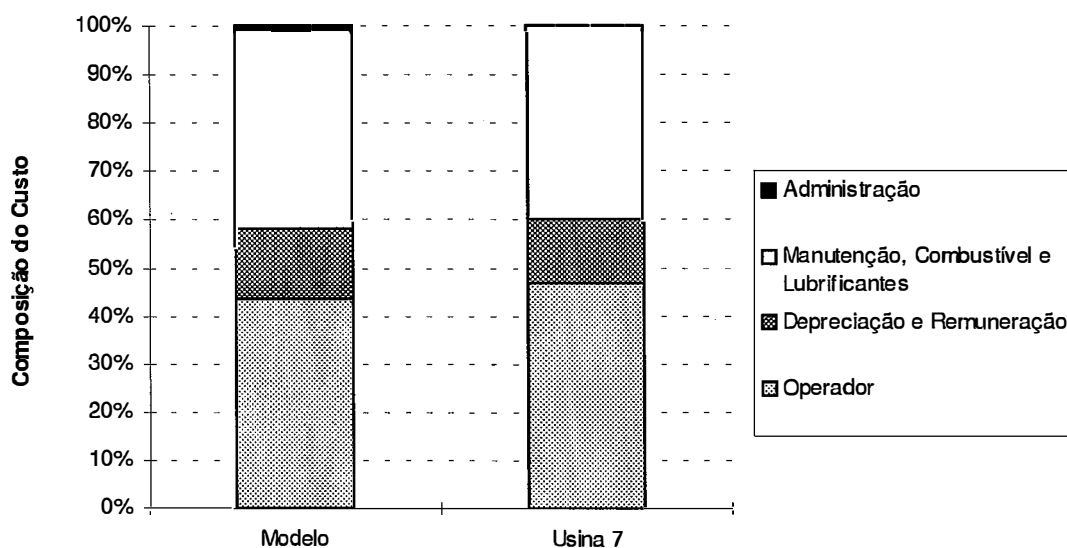
O custo estimado para o reboque de carretas em condições consideradas padrão para a empresa foi igual a R\$ 0,56 / t de cana para tratores de 120 cv e R\$ 0,67 / t de cana para tratores de 140 cv. Na Tabela 13 é apresentado um comparativo desses custos com os custos médios apropriados pelas mesmas empresas da Tabela 10. Nesta situação, as usinas 2 e 3 estão computando apenas o custo de reboque de caminhões, sem considerar o custo do reboque de carretas.



**Tabela 13** - Comparação do custo médio de reboque de sete diferentes empresas com os valores estimados pelo modelo para tratores de 120 cv e 140 cv.

<i>Custo Operacional</i>	<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>	<i>Usina 5</i>	<i>Usina 6</i>	<i>Usina 7</i>	<i>Modelo 120 cv</i>	<i>Modelo 140 cv</i>
<b>Reboque (R\$/t de cana)</b>	0,59	0,27	0,07	0,40	0,62	0,45	0,54	0,56	0,67

A composição do custo de reboque também foi fornecida apenas pela usina 7, e sua comparação com os valores estimados através do modelo desenvolvido está na Figura 13.



**Figura 13** - Comparação da composição do custo de reboque estimado pelo modelo e o custo medido pela Usina 7.

Observa-se uma boa aproximação entre os componentes de custo estimados e os medidos na Usina, que não considera custos de administração na apropriação de custos. Verifica-se também uma maior participação da mão-de-obra na composição do custo enquanto a depreciação e remuneração do capital tem menor participação na comparação.

entre o custo estimado e o medido. Essa situação pode ser creditada ao aumento de salários ocorrido no dissídio de maio de 1995.

#### 4.1.4. Velocidade média em estradas

No cálculo da velocidade média dos caminhões foram utilizadas equações empíricas desenvolvidas da mesma forma que a equação do item 4.1.1, utilizando-se os parâmetros citados no item 3.

Foram calculadas equações para estimar a velocidade dos veículos em estradas de terra e asfaltadas em função de características dos veículos e das estradas. A empresa onde se realizaram as medições utiliza seis diferentes modelos de caminhões para transporte de cana, caracterizados na Tabela 14.

**Tabela 14** - Caracterização dos veículos utilizados no transporte de cana-de-açúcar.

<i>Tipo de Caminhão</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<b>Capacidade de Carga (t)</b>	16,0	16,0	18,0	18,0	23,0	23,0
<b>Tara (t)</b>	8,5	9,0	10,0	10,0	11,0	11,0
<b>Número de Julietas</b>	0	1	1	1	1	2
<b>Capacidade de Carga da Julieta (t)</b>	-	10,0	12,0	12,0	15,0	15,0
<b>Tara da Julieta (t)</b>	-	4,5	5,0	5,0	7,5	7,5
<b>Potência do Motor (cv)</b>	130	160	190	190	252	354
<b>Número de Marchas</b>	5	8	8	8	10	16
<b>Marca <sup>6</sup></b>	MBB	VW	MBB	MBB	VW	Volvo
<b>Modelo</b>	2213	22.140	2219	2220	24.250	NL 12 360
<b>Ano de Fabricação</b>	79	84	84	88	94	94

<sup>6</sup> A citação de marcas e modelos de equipamentos visa simplesmente facilitar sua identificação, não representando recomendação do seu uso pelo autor.

As características das estradas que se mostraram estatisticamente significativas, bem como seus intervalos de segurança, estão expostos nos itens 4.1.4.1. e 4.1.4.2. .

#### 4.1.4.1. Velocidade média em estradas de terra

A equação desenvolvida para estimar a velocidade média ( $V$ ) dos veículos em estradas de terra, expressa em km/h, é:

$$V = -29,2 + 0,335 P - 0,000403 W + 23,6 NC - 6,77 NC^2 - 4,75 M - 0.463 R + 3,04A + 35,7 D^{0.15} \quad (22)$$

onde:  $P$  - potência do motor, em kw;

$W$  - peso total da composição, em kgf;

$NC$  - número de cargas do veículo;

$M$  - número de marchas;

$R$  - rampa média, em m/km;

$A$  - distância em aclave, em km;

$D$  - distância em declive, em km

Para essa equação o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) é de 62,1%, com  $s = 6,736$ . A análise estatística das variáveis utilizadas na equação e sua caracterização estão na Tabela 15. Para essa regressão foram obtidas 38 amostras - vide Apêndice 2.

**Tabela 15** - Caracterização e análise estatística das variáveis utilizadas na equação de regressão - Eq (22).

<i>Variável</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Desvio Padrão da Média</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<b>potência do motor (kw)</b>					95,3	259,7
<b>peso total (kgf)</b>	26.070	26.500	12.340	2.000	8.770	54.490
<b>número de cargas</b>					1,00	3,00
<b>número de marchas</b>					5,00	16,00
<b>rampa média (m/km)</b>	-0,40	0,00	12,19	1,98	-11,36	11,36
<b>distância em aclave (km)</b>	1,34	0,90	0,94	0,15	0,30	3,20
<b>distância em declive (km)</b>	1,42	1,00	1,03	0,17	0,30	3,20

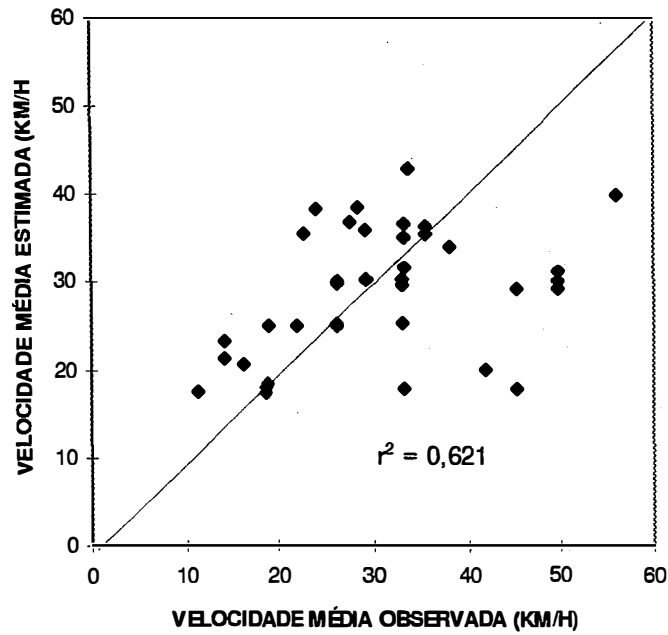
O intervalo de confiança de cada variável para utilização da equação deve ser considerado entre os valores mínimo e máximo.

Através da análise matemática da eq. (22), verifica-se que das variáveis estatisticamente significantes, apenas a distância em aclave não teve o comportamento esperado, sendo diretamente proporcional a velocidade. Esperava-se um comportamento inverso, com redução da velocidade quando houvesse aumento da distância percorrida em aclave. Esse aumento da velocidade, por outro lado, pode ser explicado pela diminuição da inclinação da rampa, fazendo com que ocorra menor redução da velocidade dos caminhões nos aclives. O número de marchas também é inversamente proporcional porque caminhões com maior número de marchas também têm maior capacidade de carga, não existindo veículos de mesma capacidade de carga com diferentes números de marchas. Em relação ao número de cargas, há um aumento de velocidade do veículo de carga simples para o de carga dupla, enquanto o treminhão apresenta a menor velocidade em relação a essa variável. Esse comportamento comprova a pequena redução de dirigibilidade do veículo simples para o duplo, enquanto demonstra uma redução maior para o treminhão. Parte desse comportamento pode ser justificado

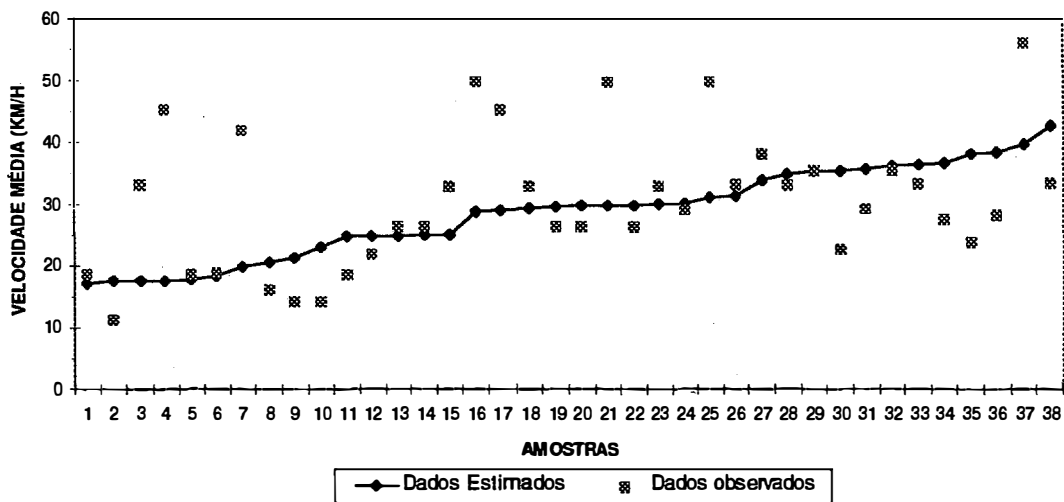
pela pouca experiência dos motoristas da empresa com treminhões (implantados em 1994), comparados com veículos carga dupla (em uso desde 1984).

Esperava-se que a classe de piso das estradas participasse da equação, já que certamente é um fator que influencia a velocidade média dos caminhões. No entanto essa variável não foi estatisticamente significativa, o que pode ser atribuído ao fato das estradas serem arrumadas (com motoniveladora) imediatamente antes do início do transporte pelo trecho. Isso faz com que todas as estradas sejam semelhantes em termos de piso ao mesmo tempo em que não há tráfego em estradas em condições ruins. Situação semelhante ocorreu com a variável largura das estradas, que não participa da equação. No caso da largura, a não influência pode ser creditada à seleção das estradas feita pela administração do transporte, evitando estradas estreitas, e também à determinação de diferentes caminhos para ida e volta dos caminhões, impedindo o cruzamento de veículos em trechos com largura inferior a 8 metros.

Comparando-se os dados estimados com os dados de medições no campo, confirma-se a correlação obtida, como mostram as Figuras 14 e 15.



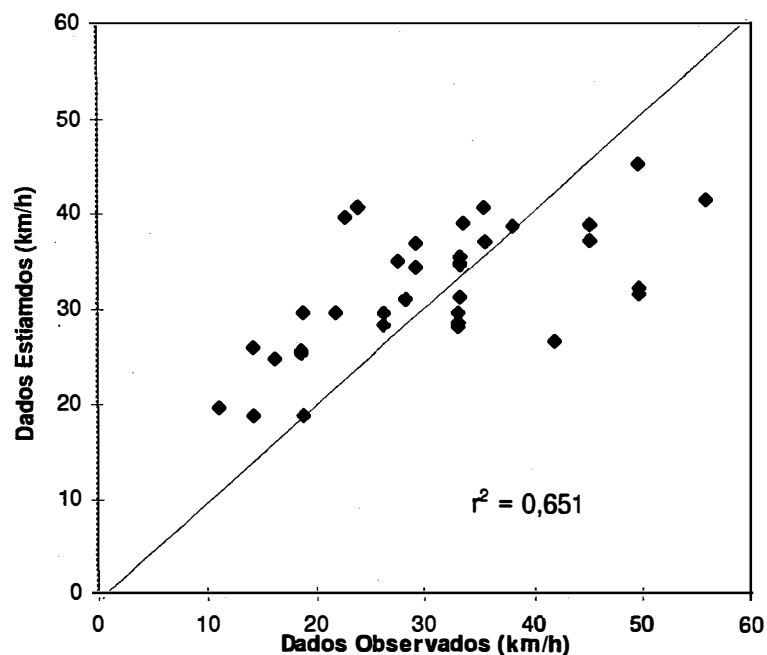
**Figura 14** - Estradas de terra: dados estimados - Eq (22) - versus medidos nas observações de campo.



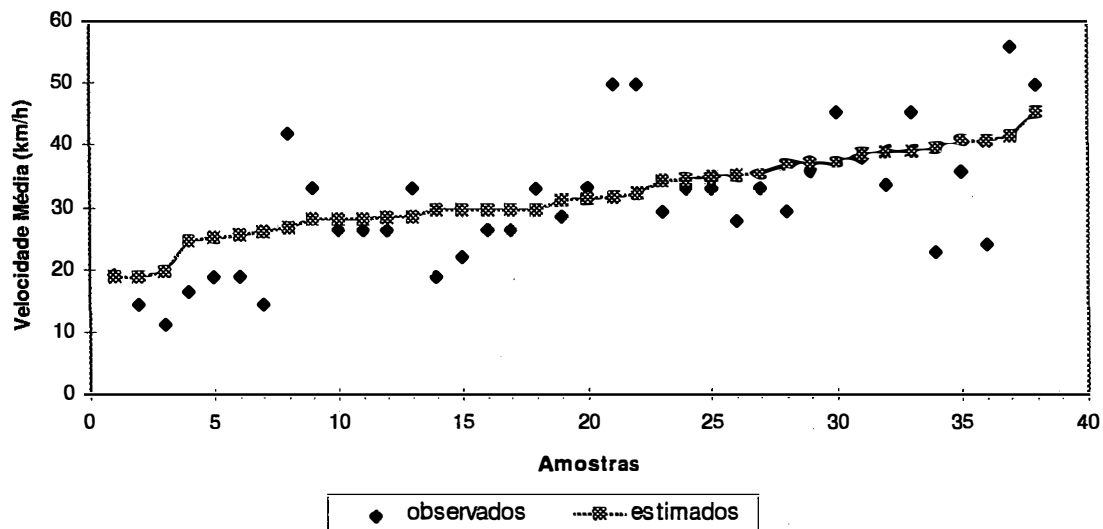
**Figura 15** - Estradas de terra: correlação entre os dados estimados -Eq (22)- e medidos nas observações de campo.

Também foram testadas as equações para estimar a velocidade de caminhões em estradas de terra propostas por ABAYNAYAKA *et al* (1976) - Eq (12) e Eq (13). Os dados de aclive e declive, em m/km, foram obtidos diretamente da relação entre distância vertical e distância total dos trechos. A curvatura, em graus/km, foi estimada à partir do número de curvas do trecho. Os dados de rugosidade e profundidade da trilha foram estimados de acordo com os intervalos propostos pelos autores do estudo, para cada classe de piso. A umidade da superfície foi considerada constante em 5% porque a empresa costuma molhar as estradas com caminhões pipa durante a colheita.

Com essa equação observou-se uma correlação entre os dados observados e estimados de 65,1%, conforme aparece nas Figuras 16 e 17. Entre os dados estimados pela equação desenvolvida na empresa - Eq (22) - e os dados estimados pelas equações de ABAYNAYAKA *et al* (1976) existe uma correlação de 70,7%.



**Figura 16** - Estradas de terra: dados estimados - Eq (12) e Eq (13) versus dados medidos nas observações de campo.



**Figura 17** - Estradas de terra: correlação entre os dados estimados - Eq (12) e Eq (13) - e medidos nas observações de campo.

A Tabela 16 mostra a comparação entre a velocidade média observada nas medições de campo, a velocidade estimada através da equação desenvolvida com esses dados Eq (22) e a velocidade estimada através das equações Eq (12) e Eq (13). As médias das duas estimativas estão dentro dos intervalos propostos na literatura - GAGO (1986), FIGUEIREDO FILHO *et al* (1984) e FIGUEIREDO FILHO *et al* (1986) - para caminhões vazios e carregados.



**Tabela 16** - Comparação entre os dados de velocidade média em estradas de terra (km/h) observados e estimados

<i>Velocidade (km/h)</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Desvio Padrão da Média</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<b>Observada</b>	30,51	29,29	10,94	1,77	11,20	56,00
<b>Estimada - Eq (22)</b>	28,77	29,83	7,21	1,17	17,33	42,87
<b>Estimada - Eq (12) e Eq (13)</b>	31,82	31,09	6,47	1,05	18,69	45,22

Os resultados demonstram uma melhor aproximação das equações desenvolvidas por ABAYNAYAKA *et al* (1976) - Eq (12) e Eq (13) - do que a equação desenvolvida com os dados obtidos na empresa - Eq 22. No entanto a diferença é muito pequena, o que sugere que aumentando as amostragens pode-se chegar a uma equação com uma correlação muito grande, além de aumentar os intervalos de segurança de cada variável.

#### 4.1.4.2. Velocidade média em estradas de asfalto

A equação desenvolvida para estimar a velocidade média ( $V$ ) dos veículos em estradas de asfalto, expressa em km/h, é:

$$V = 10,8 + 31,0A - 1,82A^2 - 0,225DV + 9,82CP - 0,304P + 0,001717P^2 + 0,00135W - 0,00000542W^2 - 5,66M - 0,237DT^2 - 0,001076PP^2 \quad (23)$$

onde:  $A$  - distância em aclive, em km;

$DV$  - distância vertical, em m;

$CP$  - classe de piso, 1 - ruim, 2 - médio, 3 - bom;

$P$  - potência do motor, em kw;

*W* - peso total da composição, em kgf;

*M* - número de marchas;

*DT* - distância total, em km;

*PP* - relação peso / potência, em kgf/kw.

Para essa equação o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) é de 69,8%, com  $s = 9,271$ . A análise estatística das variáveis utilizadas na equação e sua caracterização estão na Tabela 17. Para essa regressão foram usadas 66 amostras obtidas ao acaso - vide Apêndice 2.

**Tabela 17** - Caracterização e análise estatística das variáveis utilizadas na equação de regressão - Eq (23).

<i>Variável</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Desvio Padrão da Média</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<b>distância em aclave (km)</b>	4,84	5,10	2,80	0,35	1,20	10,60
<b>distância total (km)</b>	13,06	10,40	4,52	0,56	5,90	18,70
<b>distância vertical (km)</b>	-1,70	0,00	102,8	12,60	-125,00	125,00
<b>classe de piso</b>					1,00	3,00
<b>potência do motor (kw)</b>					95,3	261,1
<b>peso total (kg)</b>	38.790	28.830	24.000	2.950	8.770	88.240
<b>relação peso / potência (kgf/kw)</b>	190,89	185,01	95,85	11,81	82,36	356,83
<b>número de marchas</b>					5,00	16,00

O intervalo de confiança de cada variável para utilização da equação deve ser considerado entre os valores mínimo e máximo.

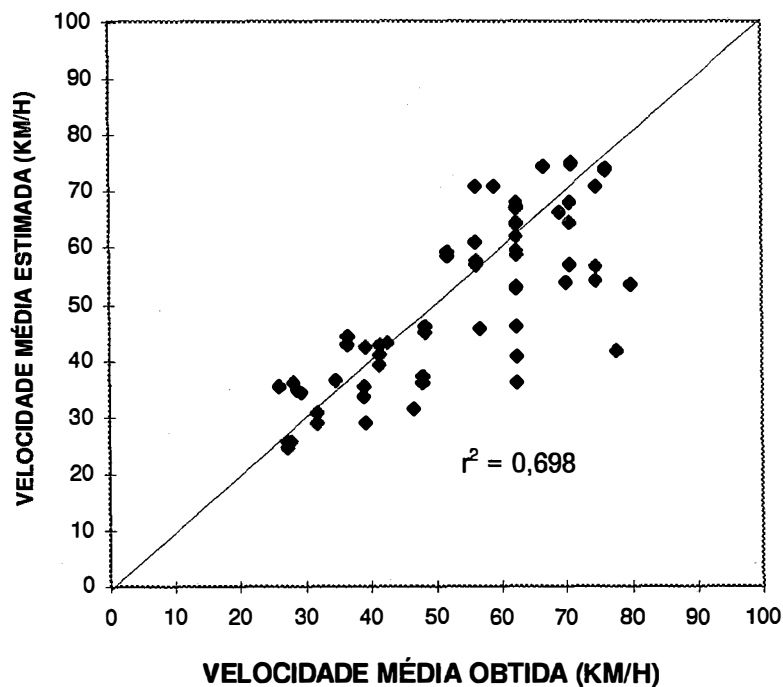
Através da análise matemática da eq. (23), verifica-se que das variáveis estatisticamente significantes, apenas a distância total e o número de marchas não tiveram o comportamento esperado, sendo inversamente proporcional a velocidade. Esperava-se um comportamento inverso, com aumento da velocidade média quando houvesse aumento da distância percorrida e do número de marchas. Esse decréscimo de velocidade

com o aumento do número de marchas pode ser explicado pela maior capacidade de carga dos veículos com maior número de marchas. Em relação à distância total, esperava-se uma velocidade média maior em distâncias maiores pela redução da influência da aceleração no início do trecho. Provavelmente essa redução da velocidade com o aumento da distância total ocorreu porque o maior trecho onde foram feitas amostragens apresenta outras características que reduzem a velocidade dos veículos.

A distância em aclave apresenta a velocidade máxima em um percurso de 8,52 km, a partir daí a velocidade diminui com o aumento da distância em aclave. No intervalo onde a velocidade é diretamente proporcional à distância, esse comportamento pode ser explicado pela menor inclinação das rampas, provocando menor redução da velocidade dos caminhões em subidas. No intervalo seguinte essa situação persiste, no entanto tem menos influência que a grande distância percorrida em velocidades reduzidas, o que não ocorria até os 8,52 km.

A potência do motor tem seu ponto mínimo em 88,51 kw, portanto o intervalo de segurança está na faixa onde ocorre aumento da velocidade com o aumento da potência do motor. No caso do peso total da composição, o ponto máximo está acima do intervalo de segurança (124.540 kg), portanto a velocidade aumenta com o aumento do peso. Essa situação pode ser explicada pela posição geográfica da usina, localizada no ponto mais baixo da região. Com isso os caminhões vazios têm que subir enquanto carregados eles descem. Outro fator que justificaria tal situação é a maior potência dos caminhões com maior capacidade de carga.

Comparando-se os dados estimados com os dados de medições no campo, confirma-se a correlação obtida, como mostram as Figuras 18 e 19.



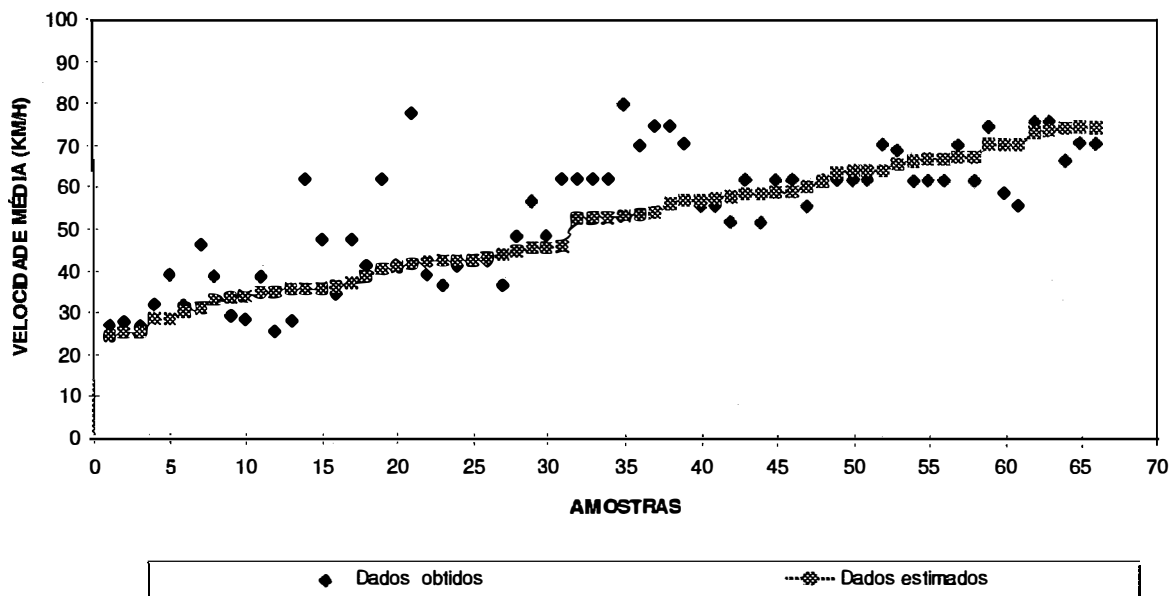
**Figura 18** - Estradas de asfalto: dados estimados - Eq (23) - versus dados medidos nas observações de campo.

Na Figura 18 percebe-se uma tendência da equação em subestimar os resultados da velocidade média. Comparando-se os dados obtidos com os dados estimados essa tendência é confirmada, como aparece na Tabela 18 e na Figura 19.

**Tabela 18** - Análise estatística dos dados de velocidade média obtidos e estimados através da equação (23).

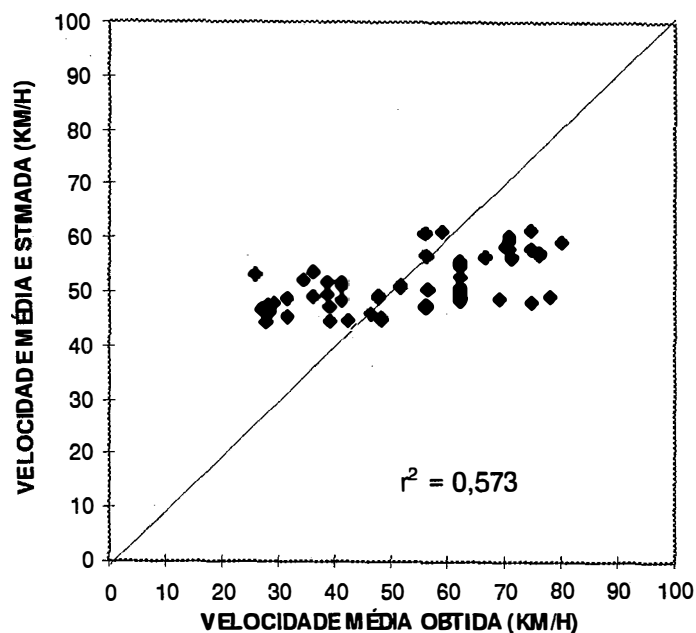
<i>Velocidade (km/h)</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Desvio Padrão da Média</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<b>Obtida</b>	54,17	57,89	15,39	1,89	26,00	80,14
<b>Estimada</b>	50,94	52,86	14,74	1,81	24,39	74,96

A diferença entre as médias é menor que 10% e também um pouco menor que os dados encontrados na literatura. No entanto a possibilidade de se acompanhar a variação da velocidade em função do tipo de estrada e do veículo justifica a utilização do modelo ao invés da média simples. Na Figura 19 pode-se verificar que a subestimativa da velocidade ocorre principalmente nas velocidades acima de 60 km/h.



**Figura 19** - Estradas de asfalto: dados estimados - Eq (23) versus dados medidos nas observações de campo.

Também foi feita a tentativa de usar no modelo as equações para cálculo da velocidade média em estradas asfaltadas propostas por ABAYNAYAKA *et al* (1976) - Eq (10) e Eq (11). No entanto, ao contrário do que ocorreu com as estradas de terra, aqui a correlação foi menor (57,3%) que com a equação desenvolvida com os dados colhidos na usina. Na Figura 20 aparece a correlação entre esses dados, onde é visível que essa estimativa não acompanha as variações de velocidade ocorridas. Apesar disso, a média da velocidade estimada (51,39 km/h) aproxima-se mais da velocidade média obtida nas medições de campo.



**Figura 20** - Estradas de asfalto: dados estimados - Eq (10 e 11) - versus dados medidos nas observações de campo.

#### 4.1.5. Determinação do ciclo e custo de transporte

O tempo de ciclo de transporte ( $T_{ct}$ ) foi obtido através da eq. (16), definida no item 3.2.2. :

$$T_{ct} = T_{vi} + 2T_{er} + T_{ect} + T_{ec} + T_{mc} + T_{arc} + T_{ejt} + T_{vv} + T_{edt} + T_{ut} \quad (16)$$

onde:  $T_{vi}$  - tempo da viagem de ida (vazio);

$T_{er}$  - tempo de desengate da(s) julieta(s) e posterior engate (duas vezes);

$T_{ect}$  - tempo de espera para carregamento;

*Tec* - tempo efetivo de carregamento;  
*Tmc* - tempo de manobras no carregamento;  
*Tarc* - tempo para amarração da carga e reboque;  
*Tejt* - tempo de espera da(s) julieta(s);  
*Tvv* - tempo da viagem de volta (carregado);  
*Tedt* - tempo de espera para descarregamento;  
*Tut* - tempo na usina.

O tempo de usina inclui os tempos necessários para realizar as seguintes atividades: pesagem na entrada (peso bruto), amostragem (quando sorteado), desamarração da carga, espera no hilo, passagem de cabos, descarregamento efetivo (caminhão e carretas), pesagem na saída (tara) e deslocamentos dentro do pátio. É escolhido pelo usuário dentre as faixas definidas na Tabela 19. Os altos coeficientes de variação encontrados representam as grandes variações existentes na taxa de descarregamento em função da moagem horária, da utilização ou não de cana estocada e do armazenamento ou não de cana no depósito.

**Tabela 19** - Faixas de tempo gasto na usina, de acordo com o tipo de caminhão, em minutos. Teste F para 5% de significância, onde letras iguais indicam que não há diferença estatística significativa.

	<i>Tempo de Usina (minutos)</i>		
	<i>Carga Simples</i>	<i>Carga Dupla</i>	<i>Carga Tripla</i>
<b>Média</b>	32,0	37,0	40,0
<b>Desvio Padrão</b>	15,9	18,6	17,4
<b>Lento</b>	47,9	55,6	57,4
<b>Médio</b>	32,0	37,0	40,0
<b>Rápido</b>	16,1	18,4	22,6
<b>Teste F</b>	A	AB	B

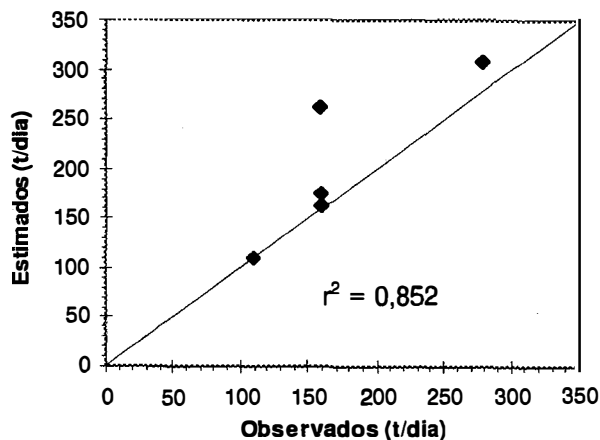
Calculado o tempo de ciclo dos caminhões, com as definições dadas pelo usuário quanto as características operacionais, é calculada a capacidade diária de transporte do veículo. Esse dado foi comparado com os dados utilizados pela empresa para dimensionamento da frota de transporte e os resultados obtidos estão na Tabela 20. Nessa simulação foram utilizados valores médios de todas as variáveis, 5 minutos de espera dos caminhões para carregamento e 25 minutos de espera para descarregamento. Os dados utilizados pela empresa foram obtidos dos resultados verificados nas safras 92/93 e 93/94.

**Tabela 20** - Capacidade diária de transporte de cana-de-açúcar (em t/dia) por veículo.

<i>Tipo de Veículo</i>	<i>Capacidade Diária de Transporte de Cana (t/dia)</i>					
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<b>Dados da Usina</b>	110,0	160,0	160,0	160,0	160,0	280,0
<b>Dados Estimados</b>	109,8	163,7	175,2	175,2	262,0	306,6

Os dados indicam uma aproximação satisfatória entre os dados estimados pelo modelo e os resultados obtidos na empresa. A correlação entre os dados é de 85,2%. A maior diferença está no veículo tipo 5, que a empresa considera igual aos tipos 2, 3 e 4 para fins de controle mas que devido principalmente a sua maior capacidade de carga tem também uma capacidade operacional maior. A distância considerada nessa simulação foi 16 km, igual a distância média medida na empresa, com 10,4 km de asfalto e 5,6 km de estrada de terra - proporção também obtida dos registros da usina. A Figura 21 ilustra a relação entre os dados observados e os estimados pelo modelo.





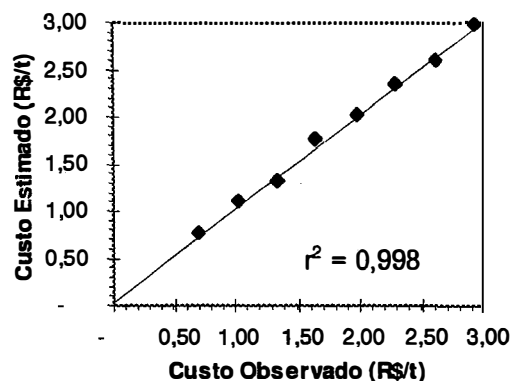
**Figura 21** - Capacidade Diária de Transporte de Cana-de-Açúcar: dados observados na usina versus dados estimados pelo modelo.

O custo de transporte estimado pelo modelo também foi validado contra os custos apropriados pela empresa e custos das mesmas empresas já citadas no ítem 4.1.2. Nas comparações utilizou-se distâncias de 5 a 40 km, comparando o custo estimado com os custos obtidos nas empresas para cada tipo de caminhão. O caminhão simples foi comparado com o custo da usina 1 - onde foi feito o estudo - que era o único disponível na empresa, o custo estimado do caminhão carga dupla foi comparado com o custo fornecido pela usina 5 e o treminhão comparado com o custo da usina 7. Esses resultados estão na Tabela 21.

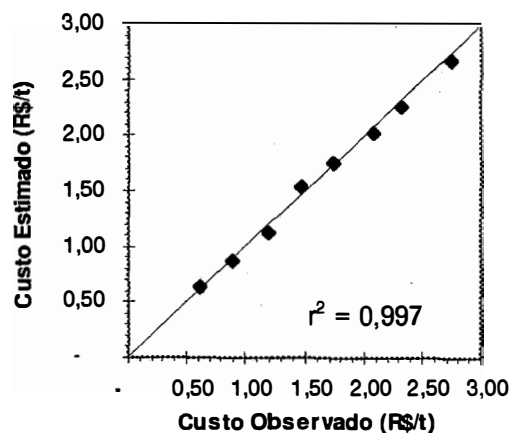
**Tabela 21** - Custo de transporte de cana-de-açúcar (R\$/t) em diversas empresas e estimado pelo modelo.

Distância (km)	Custo do Transporte de Cana (R\$/t)					
	Carga Simples		Carga Dupla		Treminhão	
	Modelo	Usina	Modelo	Usina	Modelo	Usina
		1	tipo 3	5		7
5	0,76	0,71	0,64	0,62	0,56	0,36
10	1,11	1,03	0,86	0,89	0,62	0,61
15	1,32	1,35	1,12	1,20	0,88	0,81
20	1,77	1,66	1,53	1,46	1,12	0,99
25	2,02	1,98	1,76	1,74	1,25	1,21
30	2,33	2,30	2,02	2,09	1,44	1,41
35	2,59	2,62	2,26	2,34	1,57	1,61
40	2,97	2,94	2,68	2,74	1,73	1,82

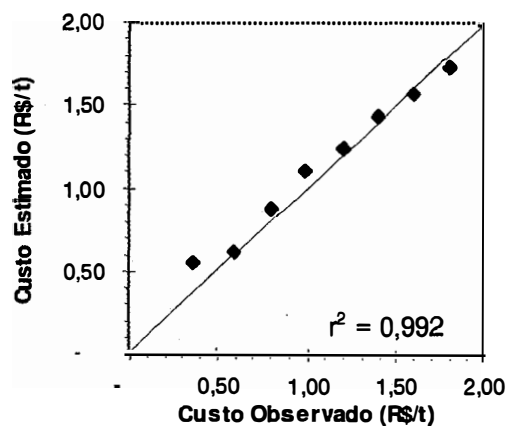
As Figuras 22 a 24 ilustram a correlação entre os custos de transporte estimados e os obtidos nas empresas. Para o caminhão simples a correlação entre os dados foi de 99,8%, para o caminhão carga dupla 99,7%, e para o treminhão 99,2%.



**Figura 22** - Correlação entre o custo de transporte observado e o custo estimado para caminhões carga simples, em R\$/t. Distâncias de 5 a 40 km.



**Figura 23** - Correlação entre o custo de transporte observado e o custo estimado para caminhões carga dupla, em R\$/t. Distâncias de 5 a 40 km.



**Figura 24** - Correlação entre o custo de transporte observado e o custo estimado para caminhões carga tripla (treminhões), em R\$/t. Distâncias de 5 a 40 km.

O melhor índice de correlação dos caminhões carga simples e dupla deve-se à maior similaridade das condições das usinas com as do modelo, principalmente no primeiro caso, onde os dados foram observados na própria usina onde foi desenvolvido o estudo.

No caso dos treminhões a maior diferença entre os dados estimados e observados está na distância de 5 km, onde o fator fila para descarregamento influí bastante no custo

da operação. O tempo médio de fila não foi informado pela empresa, para que se pudesse adequar essa variável no modelo.

Em todos os casos a correlação obtida é satisfatória para os objetivos do estudo. Com a aproximação obtida é possível desenvolver estudos de sensibilidade do modelo, bem como desenhar cenários para determinar a melhor opção em equipamentos para diversas situações.

#### **4.1.6. Planilha desenvolvida**

A planilha desenvolvida está no disquete anexo e listada no Apêndice 1.

#### **4.2. Análise de sensibilidade**

As análises de sensibilidade foram desenvolvidas visando identificar os parâmetros de maior influência sobre o custo de cada operação, individualmente, e sobre o custo total de carregamento, reboque e transporte. Para o cálculo da percentagem de variação dos parâmetros foi considerado como 100% o ponto médio (ou padrão), no qual o modelo foi validado.

Nas análises de sensibilidade realizadas foram utilizados trechos de estradas reais, onde foram coletados dados.

#### **4.2.1. Carregamento**

A sensibilidade do custo operacional de carregamento à variações no custo de manutenção dos equipamentos foi analisada através da variação da taxa de manutenção a cada 10.000h de trabalho. Quando foi analisada a influência do preço inicial da máquina sobre o custo da operação, o valor com o qual é calculado o custo de manutenção permaneceu constante no valor tomado como padrão.

As análises de sensibilidade estão resumidas na Tabela 22. Nas Tabelas 23 a 25 os parâmetros considerados estão ordenados para cada tipo de máquina, daquele com maior influência positiva sobre o custo operacional até o que proporciona maior redução.

A eficiência operacional dos equipamentos é um dos fatores analisados. É a relação entre o tempo trabalhado e o tempo disponível para operação em um dia. A diferença de tempo é consumida nos intervalos de refeições dos operadores, trocas de turno, abastecimento e lubrificação, e paradas para manutenção....

**Tabela 22** - Sensibilidade do custo de carregamento à diversas variáveis. Números entre parênteses representam valores negativos.

<b>Parâmetro</b>	<b>Variação do Parâmetro</b>	<b>Variação Percentual do Custo Operacional</b>		
	<b>Limites</b>	<b>máquina 1</b>	<b>máquina 2</b>	<b>máquina 3</b>
<b>Salário do Operador</b>	R\$ 500 a R\$ 800	45,00	41,86	36,84
<b>Tempo de Espera</b>	0 a 90 minutos	188,89	177,19	201,89
<b>Encargos Sociais</b>	70 a 120%	15,00	13,95	11,84
<b>Taxa de Manutenção</b>	70 a 130%	13,51	12,82	13,89
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	70 a 130%	10,00	6,98	7,89
<b>Tempo de Entrada no Talhão</b>	0 a 20 minutos	50,00	46,51	55,26
<b>Declividade</b>	3 a 15	22,50	34,88	15,79
<b>Número do corte</b>	1 a 8	22,22	32,65	14,29
<b>Consumo de Combustível</b>	70 a 130%	5,00	6,98	10,53
<b>Taxa de Juros Anual</b>	6 a 18%	5,00	4,65	5,26
<b>Produtividade Agrícola</b>	63 a 117t	(12,50)	(13,95)	(5,26)
<b>Capacidade Operacional</b>	50 a 150%	(57,50)	(63,64)	(48,72)
<b>Eficiência Operacional</b>	50 a 150%	(87,50)	(81,82)	(74,36)

**Tabela 23** - Variação percentual do custo operacional de carregamento para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Máquina 1.

<b>Variável</b>	<b>% de aumento do custo a cada 1% de acréscimo</b>
Salário do Operador	0,54002
Tempo de Espera	0,41976
Encargos Sociais	0,25502
Taxa de Manutenção	0,22517
Custo Inicial do Equipamento	0,16667
Tempo de Entrada no Talhão	0,12500
Declividade	0,11250
Número do corte	0,09523
Consumo de Combustível	0,08333
Taxa de Juros Anual	0,05000
Produtividade Agrícola	-0,20833
Capacidade Operacional	-0,57500
Eficiência Operacional	-0,87500

**Tabela 24** - Variação percentual do custo operacional de carregamento para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Máquina 2.

<b>Variável</b>	<b>% de aumento do custo a cada 1% de acréscimo</b>
Salário do Operador	0,50234
Tempo de Espera	0,39376
Encargos Sociais	0,23716
Taxa de Manutenção	0,21367
Declividade	0,17440
Número do corte	0,13993
Custo Inicial do Equipamento	0,11633
Consumo de Combustível	0,11633
Tempo de Entrada no Talhão	0,11628
Taxa de Juros Anual	0,04650
Produtividade Agrícola	-0,23250
Capacidade Operacional	-0,63640
Eficiência Operacional	-0,81820

**Tabela 25** - Variação percentual do custo operacional de carregamento para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Máquina 3.

<i>Variável</i>	<i>.% de aumento do custo a cada 1% de acréscimo</i>
<b>Tempo de Espera</b>	0,44864
<b>Salário do Operador</b>	0,44210
<b>Taxa de Manutenção</b>	0,23150
<b>Encargos Sociais</b>	0,20129
<b>Consumo de Combustível</b>	0,17550
<b>Tempo de Entrada no Talhão</b>	0,13815
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	0,13150
<b>Declividade</b>	0,07895
<b>Número do corte</b>	0,06124
<b>Taxa de Juros Anual</b>	0,05260
<b>Produtividade Agrícola</b>	-0,08767
<b>Capacidade Operacional</b>	-0,48720
<b>Eficiência Operacional</b>	-0,74360

Observa-se que as máquinas têm comportamentos similares, apresentando os mesmos parâmetros direta e inversamente proporcionais ao custo. No entanto, enquanto as máquinas tipo 1 e 2 têm seu custo mais sensível à variação dos salários dos operadores, o tipo 3 é mais sensível ao tempo de espera por veículos. De modo geral, a máquina tipo 3 tem seu custo operacional menos sensível às variações consideradas; apenas nos parâmetros tempo de espera, taxa de manutenção e consumo de combustível foi mais sensível que as demais.

Considerando-se os parâmetros que têm maior influência sobre os três tipos de máquinas, apenas quatro são gerenciáveis: tempo de espera, taxa de manutenção, capacidade operacional e eficiência operacional; portanto, devem receber maior atenção da gerência. Os salários são definidos em acordos entre sindicatos patronais e classistas e os encargos pela legislação, sendo de difícil gerenciamento pelas empresas.

O tempo de espera será analisado com maiores detalhes no item 4.2.4., em função do custo total de carregamento, reboque e transporte. A declividade do talhão também será melhor analisada com a simulação de cenários, já que dificilmente a variação da



declividade ocorrerá sem que outros parâmetros também variem, como a manutenção e o ritmo do ciclo de carregamento.

A grande sensibilidade do custo à capacidade operacional de carregamento indica o erro que se esconde ao trabalhar com valores médios. Ao se considerar a capacidade operacional constante, situações extremas não são consideradas, induzindo a erros na estimativa do custo de carregamento dessas situações. A correta estimativa dos custos podem até mesmo inviabilizar o aproveitamento de determinadas áreas e/ou determinar ações gerenciais mais efetivas, incluindo necessidades de investimento.

A taxa anual de juros não se destaca dentre os parâmetros que influenciam o custo operacional de carregamento. No entanto, foi considerada uma variação de 6 a 18% da taxa partindo-se do valor médio de 12%, que são valores historicamente mais comuns e internacionalmente praticados. Ao se considerar os valores atuais das taxas de juros praticadas no Brasil (em torno de 42% ao ano), o custo operacional apresenta um acréscimo de 15%, 14% e 13%, para as máquinas tipo 1, 2 e 3 respectivamente, em relação ao custo inicial com taxa de 12% a.a..

Determinados os índices das Tabela 23 a 25, é possível analisar a viabilidade de se aumentar os salários pagos aos operadores para melhorar a qualidade da mão-de-obra. Dos fatores considerados, os que dependem da forma de operação da máquina são:

- taxa de manutenção,
- consumo de combustível,
- capacidade operacional e
- eficiência operacional.

Apesar desses fatores não serem exclusivamente dependentes da forma de operação da máquina, o operador pode ter forte influência sobre eles. A Tabela 26 indica a percentagem de aumento (ou decréscimo) que deve ocorrer em cada parâmetro para compensar um aumento de 10% no salário pago aos operadores.

**Tabela 26** - Variação percentual de alguns parâmetros necessária para compensar o aumento do custo operacional de carregamento gerado por 10% de aumento no salário pago aos operadores das máquinas carregadoras de cana-de-açúcar.

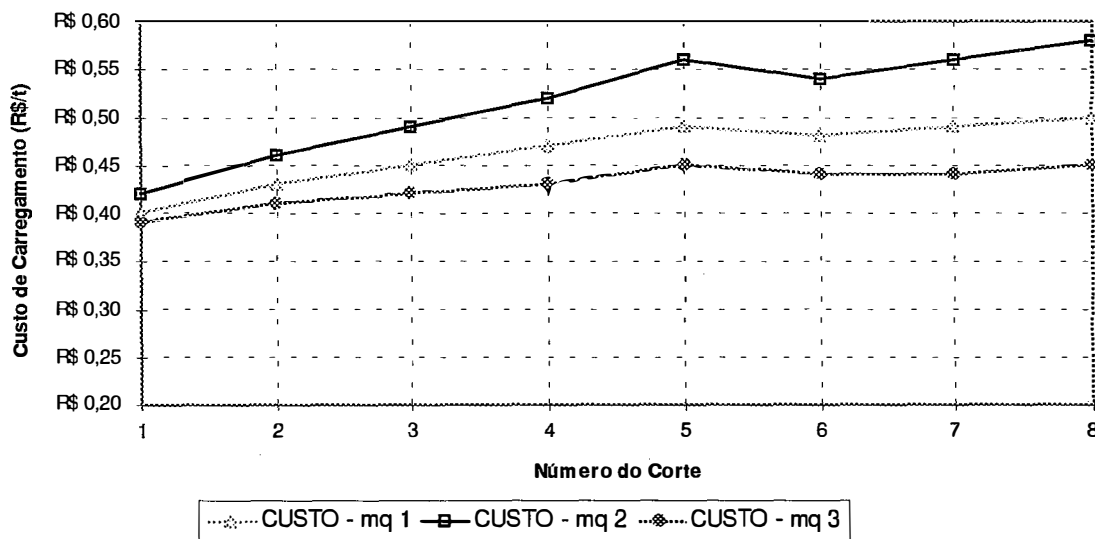
<i>Parâmetro</i>	<i>Variação percentual</i>		
	<i>Máquina 1</i>	<i>Máquina 2</i>	<i>Máquina 3</i>
<b>taxa de manutenção</b>	-24,0	-23,5	-19,1
<b>consumo de combustível</b>	-64,8	-43,2	-25,2
<b>capacidade operacional</b>	9,4	7,9	9,1
<b>eficiência operacional</b>	6,2	6,1	5,9

Verifica-se que através da redução do consumo de combustível é praticamente impossível compensar o aumento salarial, enquanto que a redução da taxa de manutenção já é mais viável, apesar de ser difícil. Por outro lado, através do aumento da capacidade e da eficiência operacional é perfeitamente viável compensar o aumento dos salários. No entanto, deve-se considerar uma influência da forma de operação sobre esse conjunto de variáveis, não individualmente.

Com o objetivo de determinar qual tipo de máquina se adequa melhor as diversas condições de carregamento, foram feitas análises de sensibilidade das variáveis declividade, tempo de espera para carregamento e número do corte. A variação do custo de carregamento (R\$/t) em função de variação do número do corte está na Figura 25. Para esta simulação foram utilizadas as produtividades médias de cada corte verificadas na empresa: 1<sup>o</sup> corte - 120 t/ha; 2<sup>o</sup> corte - 90 t/ha; 3<sup>o</sup> corte - 75 t/ha; 4<sup>o</sup> corte - 65 t/ha; 5<sup>o</sup> corte - 55 t/ha; 6<sup>o</sup> corte ou mais - 70 t/ha. A utilização desses valores médios de produtividade permite avaliar o efeito de duas variáveis ao mesmo tempo (corte e produtividade agrícola) já que existe uma grande correlação entre eles. O comprimento de campo foi constante em 350 m, a declividade igual a 5% e o fator de manutenção 100% do valor inicial do equipamento a cada 10.000h.

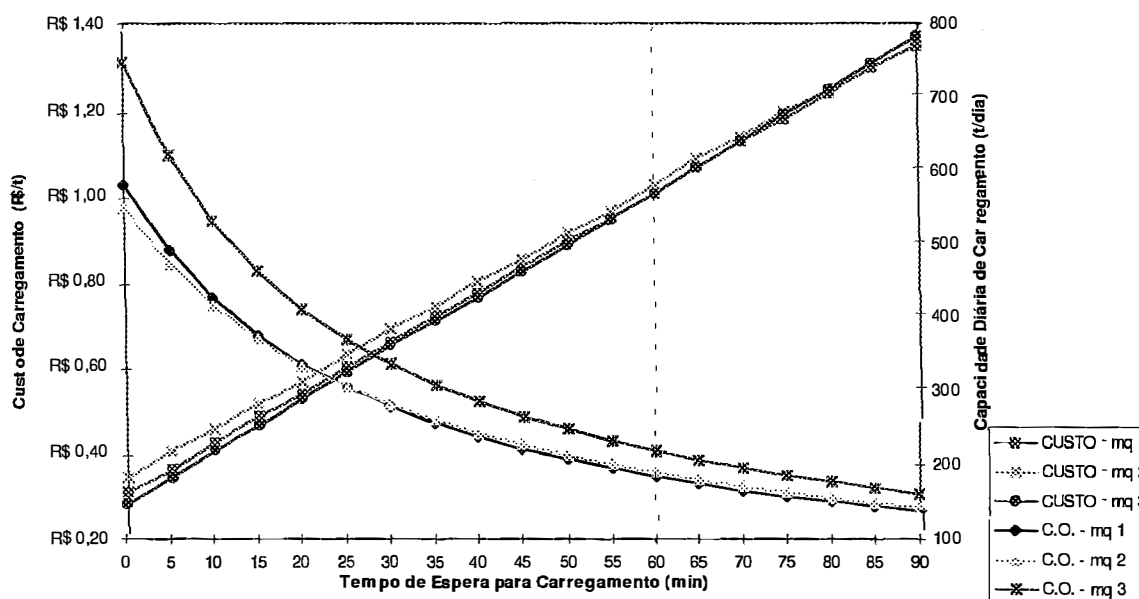
Verifica-se na Figura 25 que a máquina do tipo 3 é a que apresenta menor custo, independentemente do corte. Trata-se da máquina com garra para 1200 kg de cana e o

trator de maior porte. As próprias características da máquina determinam uma maior capacidade operacional enquanto o menor custo ocorre devido à grande influência do custo da mão-de-obra nos custos operacionais.



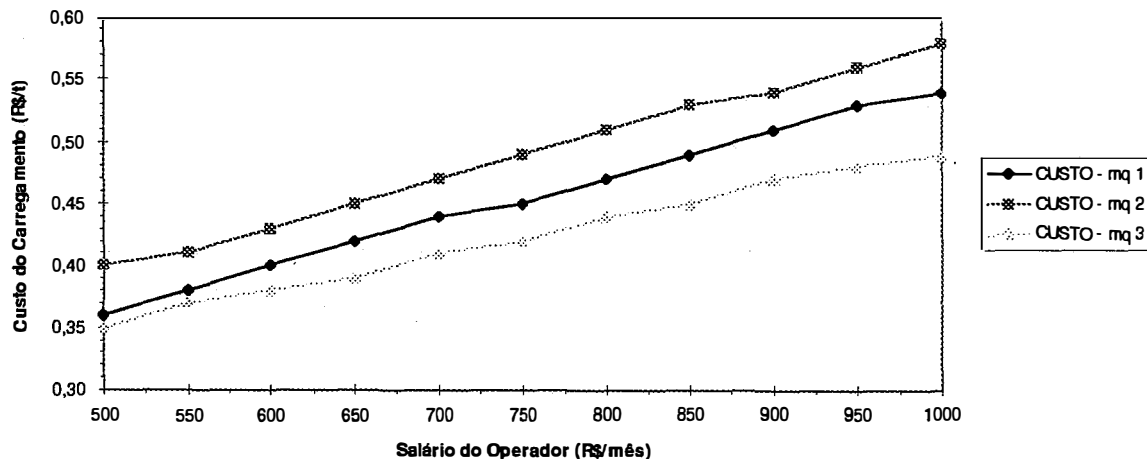
**Figura 25** - Variação do Custo de Carregamento em função do Número do Corte da Soqueira. Mq 1, 2 e 3 correspondem aos tipos de máquinas carregadoras de cana caracterizadas na Tabela 7.

O tempo de espera para carregamento é a variável que mais depende da forma de gerenciamento do sistema de colheita. Como apresentado na introdução desse estudo, existe uma tendência ao superdimensionamento do número de carregadoras de cana para aumentar a segurança no fornecimento de cana e reduzir - eliminar, se possível - a ociosidade dos veículos de transporte no campo. O aumento de custo gerado por essa prática é exposto na Figura 26, que apresenta também a redução na capacidade diária de carregamento das máquinas. Observa-se que o menor custo obtido com o uso das máquinas tipo 3 vai reduzindo com aumento do tempo ocioso até desaparecer quando esse tempo chega a uma hora. Novamente o custo da mão-de-obra é responsável pela situação; nesse caso, aliado ao maior custo fixo das máquinas de maior porte. Nessa simulação foi considerado um ritmo de carregamento médio, canavial de segundo corte (90 t/ha) e declividade igual a 5%.



**Figura 26** - Variação do Custo e da Capacidade Operacional de Carregamento em função do Tempo de Espera para Carregamento. Mq 1, 2 e 3 correspondem aos tipos de máquinas carregadoras de cana caracterizadas na Tabela 7.

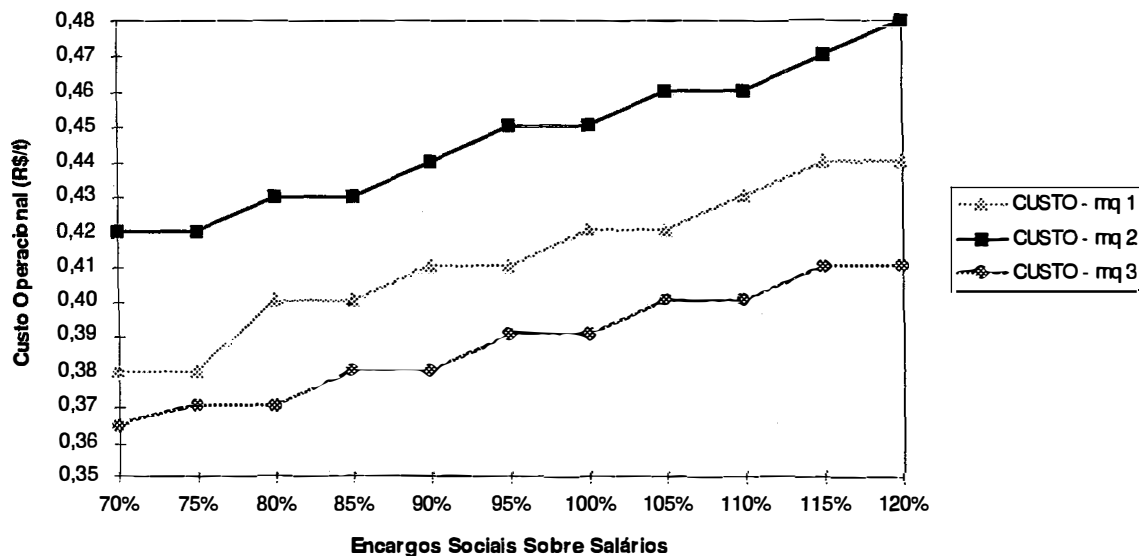
Devido à grande influência da mão-de-obra no custo da operação de carregamento de cana-de-açúcar também foi analisada a sensibilidade do custo à variação do valor do salário pago aos operadores. Na Figura 27 estão as curvas representando o comportamento dos três tipos de máquinas utilizados na empresa. A máquina tipo 1 é a mais sensível à variação dos salários, pois para uma variação entre R\$ 500,00 e R\$1.000,00 do salário, o custo de carregamento variou em 45,0% com 41,9% e 36,9% para as máquinas tipo 2 e 3, respectivamente.



**Figura 27** - Variação do custo de carregamento em função do valor do salário pago aos operadores. Mq 1, 2 e 3 são respectivamente carregadoras tipo 1, 2 e 3 caracterizadas na Tabela 7.

O preço do combustível também foi um parâmetro testado, porém o custo da operação altera muito pouco - de R\$ 0,40 para R\$ 0,42 - quando o preço do óleo Diesel passa de R\$ 0,25 para R\$ 0,50. Dessa forma, a influência da variável preço do combustível será analisada com mais detalhes em relação ao custo final do carregamento, reboque e transporte.

Assim como o valor do salário pago, os encargos sociais que incidem sobre os salários têm influência significativa no custo operacional de carregamento. Na Figura 28 são apresentadas as curvas de custo operacional dos três tipos de máquina em função da variação da incidência de encargos sociais.



**Figura 28** - Variação do custo de carregamento em função da incidência de encargos sociais sobre o salário dos operadores. Mq 1, 2 e 3 são respectivamente carregadoras tipo 1, 2 e 3 caracterizadas na Tabela 7.

De uma maneira geral, os resultados obtidos são semelhantes aos apresentados por FIGUEIREDO FILHO & ARRAES (1988), com o custo do operador sendo o parâmetro que mais contribui para o aumento do custo de carregamento. No entanto, naquele estudo os autores verificaram que a capacidade operacional efetiva era o fator que mais contribuía para redução do custo, enquanto através do modelo desenvolvido a capacidade operacional é superada pela eficiência operacional. No presente estudo, o tempo de espera também aparece com maior destaque, chegando a ser o fator mais relevante no caso da máquina número 3.

#### 4.2.2. Reboque

Análise de sensibilidade do custo operacional de reboque de carretas também visa determinar os fatores mais influentes sobre o custo da operação. Nesse caso, porém,

outros fatores além do custo devem ser considerados, como o correto dimensionamento do trator para a carreta a ser rebocada e a utilização desse trator na entressafra.

O resumo da análise de sensibilidade é apresentado na Tabela 27.

**Tabela 27 - Sensibilidade do custo de reboque de carretas à diversas variáveis.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Varição do Parâmetro</b>	<b>Varição Percentual do Custo Operacional</b>	
	<b>Limites</b>	<b>trator 1</b>	<b>trator 2</b>
<b>Tempo de Espera</b>	0 a 90 min	188,31	188,51
<b>Salário</b>	R\$ 500 a R\$ 1.000	26,23	21,74
<b>Encargos Sociais</b>	70 a 120%	14,75	13,04
<b>Tempo de Amarração e Reboque</b>	0 a 20 min	51,61	52,86
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	70 a 130%	9,84	8,70
<b>Tempo de Entrada no Talhão</b>	0 a 20 min	52,46	52,17
<b>Taxa de Manutenção</b>	70 a 130%	9,62	10,17
<b>Taxa Anual de Juros</b>	6 a 18%	6,56	5,80
<b>Capacidade Operacional de Carregamento</b>	40 a 130 t/h	-35,09	-41,82
<b>Horas Trabalhadas na Entressafra</b>	800 a 2.000	-27,87	-24,64
<b>Eficiência Operacional</b>	70 a 130%	-29,69	-27,78

Na Tabela 28 os parâmetros considerados estão ordenados para cada tipo de trator, daquele com maior influência positiva sobre o custo operacional até o que apresenta maior redução do custo. Verifica-se um comportamento semelhante dos dois tipos de tratores nos parâmetros que provocam aumento do custo, enquanto nos parâmetros que reduzem o custo há uma inversão entre os parâmetros capacidade operacional de carregamento e horas trabalhadas na entressafra. Ao contrário das carregadoras de cana não há um tipo de trator mais sensível que outro, já que as variações encontradas são muito próximas.

**Tabela 28** - Variação percentual do custo operacional de reboque de carretas para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis.

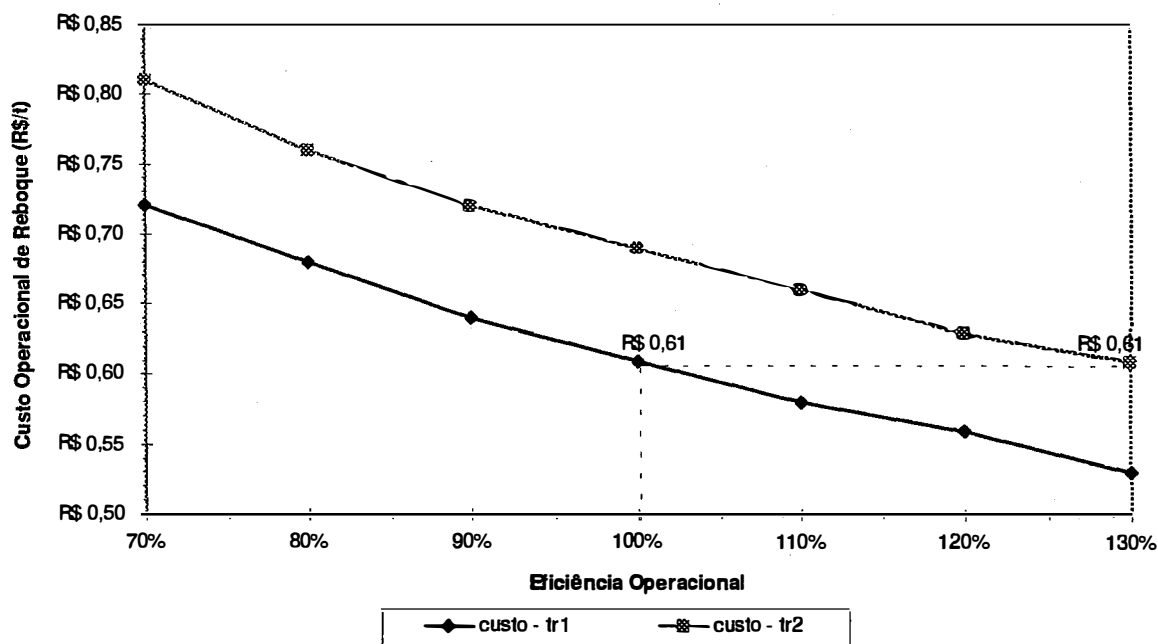
<i>Variável</i>	<i>% de aumento do custo a cada 1% de acréscimo</i>
<b>trator 1</b>	
<b>Tempo de Espera</b>	0,41847
<b>Salário</b>	0,31477
<b>Encargos Sociais</b>	0,25077
<b>Tempo de Amarração e Reboque</b>	0,20644
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	0,16400
<b>Taxa de Manutenção</b>	0,16033
<b>Tempo de Entrada no Talhão</b>	0,13115
<b>Taxa Anual de Juros</b>	0,06560
<b>Capacidade Operacional de Carregamento</b>	-0,31191
<b>Horas Trabalhadas na Entresafra</b>	-0,32517
<b>Eficiência Operacional</b>	-0,49483
<b>trator 2</b>	
<b>Tempo de Espera</b>	0,41891
<b>Salário</b>	0,26089
<b>Encargos Sociais</b>	0,22169
<b>Tempo de Amarração e Reboque</b>	0,21144
<b>Taxa de Manutenção</b>	0,16950
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	0,14500
<b>Tempo de Entrada no Talhão</b>	0,13068
<b>Taxa Anual de Juros</b>	0,05800
<b>Horas Trabalhadas na Entresafra</b>	-0,28748
<b>Capacidade Operacional de Carregamento</b>	-0,37173
<b>Eficiência Operacional</b>	-0,46300

Assim como no carregamento, os fatores que mais oneram a operação são o custo da mão-de-obra (valor do salário pago aos tratoristas e incidência de encargos sociais sobre os salários) e o tempo de espera. No caso do reboque aparece em seguida o tempo de amarração e reboque, que deve ser bem analisado. Algumas empresas trabalham a



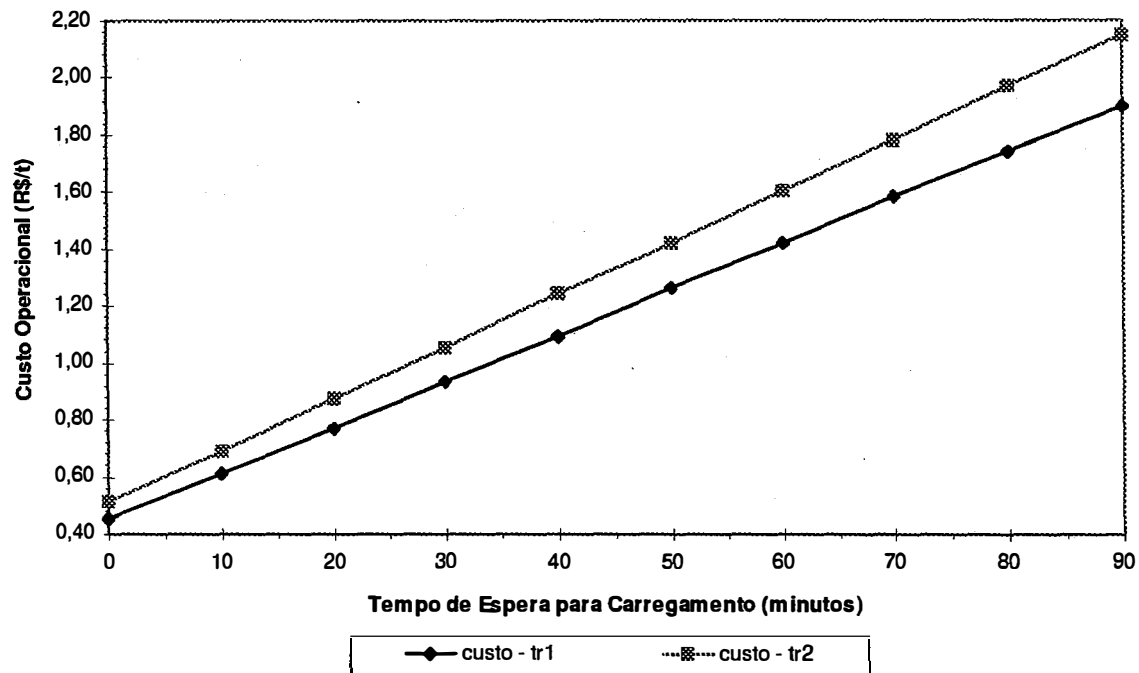
algum tempo com caminhões e carretas de fueiros mais altos para não perder tempo com a amarração da carga. O tempo de reboque para fora do talhão pode ser reduzido mas não eliminado; no entanto, o tempo de amarração pode ser zerado com a colocação de colmos de cana até uma altura inferior à dos fueiros. Outra prática comum é a arrumação final da carga, que além de aumentar o tempo de carregamento também aumenta o tempo de amarração da carga. Nos cenários criados no item 4.4. essa prática será melhor discutida já que apesar de tornar o ciclo dos equipamentos mais longo, aumenta a carga útil transportada por viagem.

A eficiência operacional é o parâmetro de maior influência sobre o custo operacional de reboque. A Figura 29 ilustra a variação do custo em função da variação percentual da eficiência operacional original para cada tipo de trator - 70% para o trator tipo 1 e 75% para o 2. Apesar de ser um trator de maior porte, o trator de 140 cv tem o mesmo custo operacional do trator de 120 cv quando apresenta uma eficiência operacional superior em 20 a 30%.



**Figura 29** - Variação do custo operacional de reboque de carretas em função da eficiência operacional. Tr 1 e 2 são respectivamente os tratores tipo 1 e 2 caracterizados na Tabela 11.

O tempo de espera é o segundo fator que mais influencia o custo do reboque de carretas, para ambos os tipos de tratores. A Figura 30 ilustra essa situação, onde pode-se verificar que quando o tempo de espera é baixo, os tratores praticamente se equivalem em termos de custo.

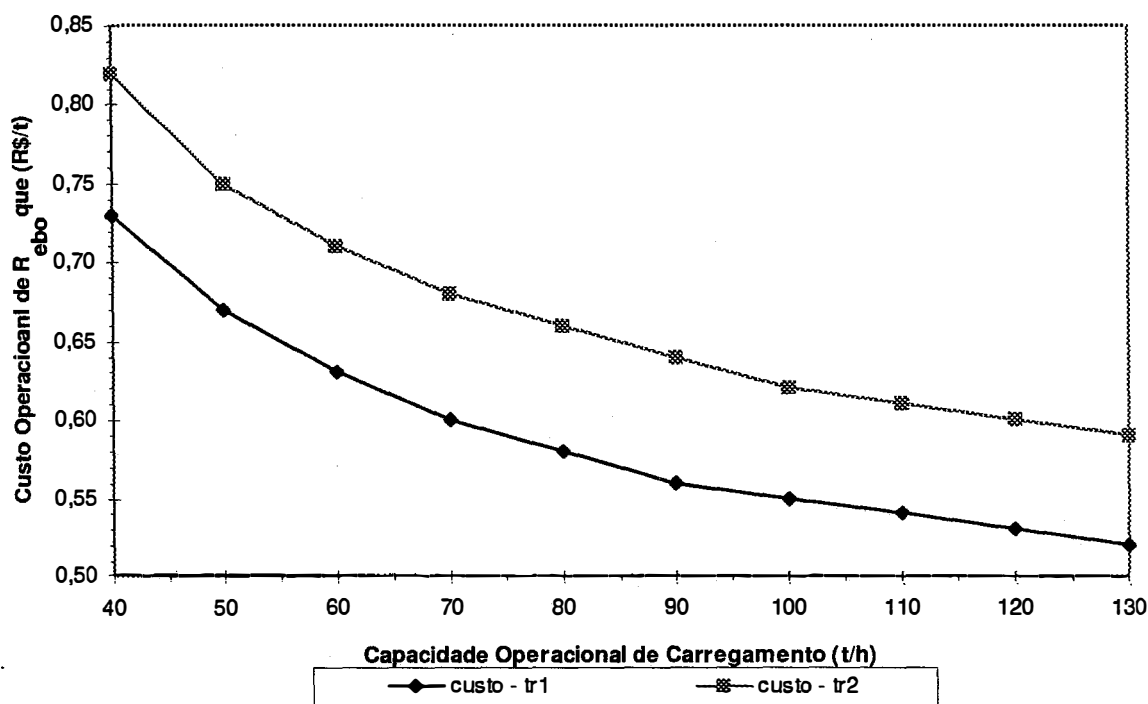


**Figura 30** - Variação do custo operacional de reboque de carretas em função do tempo de espera para carregamento (espera de carretas). Tr 1 e 2 são respectivamente os tratores tipo 1 e 2 caracterizados na Tabela 11.

Por esses dois parâmetros pode-se chegar à equivalência de custos entre os dois tipos de máquina. Caso a redução do tempo de espera por veículos para carregamento possa ser obtida através de melhor gerenciamento do sistema, ou se a menor exigência da máquina devido ao seu maior porte permitir o ganho necessário em eficiência, o trator de 140cv poderia ser utilizado sem onerar o sistema de colheita.

Outro parâmetro de influência significativa sobre o custo operacional de reboque é a capacidade operacional de carregamento. A Figura 31 ilustra a variação do custo em função da capacidade operacional. No modelo não foi considerada a hipótese do trator de

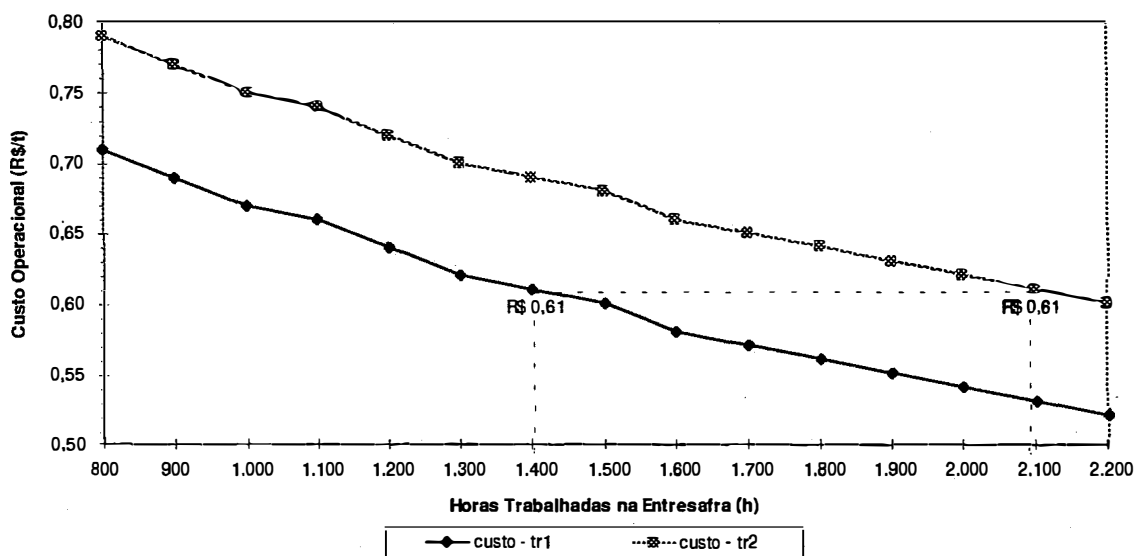
120 cv restringir a capacidade operacional de carregamento por dispor de menor potência, o que pode ocorrer. No entanto a amostragem feita não permite verificar esse ponto, que poderá ser alvo de futuros estudos.



**Figura 31** - Variação do custo operacional de reboque de carretas em função da capacidade operacional de carregamento. Tr 1 e 2 são respectivamente os tratores tipo 1 e 2 caracterizados na Tabela 11.

O correto dimensionamento dos tratores de reboque depende também da operação na qual esses tratores serão utilizados na entressafra. Na usina onde foi feito estudo, os tratores são utilizados na sulcação para o plantio, onde o trator de 140cv está bem melhor dimensionado que o de 120 cv. Outra opção seria utiliza-los no preparo de solo onde o maior trator seria mais econômico, como mostram os levantamentos da empresa. A terceira opção seria o reboque de caminhões e carretas no plantio, onde o número de horas trabalhadas é pequeno e normalmente são utilizados tratores menores e mais antigos, devido à pequena carga transportada.

O parâmetro horas trabalhadas na entressafra é dos mais significativos na variação do custo de reboque. Os fatores listados acima mostram que pode haver uma significativa diferença na utilização dos tratores durante a entressafra, caso estejam dimensionados para as operações realizadas nessa época. A Figura 32 mostra o comportamento do dois tipos de tratores com a variação do número de horas trabalhadas na entressafra.



**Figura 32** - Variação do custo operacional de reboque de carretas em função do número de horas trabalhadas na entressafra. Tr 1 e 2 são respectivamente os tratores tipo 1 e 2 caracterizados na Tabela 11.

Como destacado na Figura 32, se devido à melhor adequação do trator de 140 cv às operações de entressafra houver um aumento do número de horas trabalhadas nesse período de 1.400h (número obtido no levantamento de dados feito na empresa) para 2.100h, os tratores se equivaleriam em termos de custo operacional no reboque.

### **4.2.3. Transporte**

Para analisar a sensibilidade do custo do transporte de cana à diversas variáveis foi utilizada uma distância de 16 km - distância média verificada na usina onde foram levantados os dados - sendo 10,4 km em estrada de asfalto com piso ruim e 5,6 km em estrada de terra com piso bom. Essa caracterização de estradas foi usada por ser a mais comum na usina. Os tempos de ciclo foram considerados na faixa de ritmo médio, sem espera para carregamento e com 20 minutos de fila para descarregamento.

Os parâmetros de maior influência sobre o custo operacional de transporte estão na Tabela 29, onde os tipos de caminhão são os descritos na Tabela 14.

Tabela 29 - Sensibilidade do custo de transporte à diversas variáveis.

<b>Parâmetro</b>	<b>Variação do Parâmetro</b>	<b>Variação Percentual do Custo Operacional</b>					
	<b>Limites</b>	<b>cam. 1</b>	<b>cam. 2</b>	<b>cam. 3</b>	<b>cam. 4</b>	<b>cam. 5</b>	<b>cam. 6</b>
<b>Salário do Operador</b>	R\$ 500 a R\$ 1.000	41,78	36,44	34,40	31,62	28,28	24,21
<b>Encargos Sociais</b>	70 a 130%	20,55	18,64	16,80	15,44	14,14	11,58
<b>Coeficiente de Manutenção</b>	70 a 130%	12,33	15,25	15,20	13,97	14,14	13,68
<b>Tempo de Usina</b>	70 a 130%	12,33	13,56	13,60	13,97	13,13	13,68
<b>Tempo de Espera - Descarregamento</b>	0 a 90 minutos	56,85	56,78	54,40	54,41	54,55	48,42
<b>Consumo de Combustível</b>	70 a 130%	6,16	5,08	5,60	5,15	6,06	5,26
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	70 a 130%	5,48	5,08	7,20	6,62	7,07	7,37
<b>Taxa de Juros Anual</b>	6 a 18%	6,85	8,47	10,40	9,56	10,10	11,58
<b>Tempo de Espera - Carregamento</b>	0 a 30 minutos	18,54	18,03	17,83	17,73	17,65	15,46
<b>Capacidade Operac. de Carregamento</b>	70 a 130%	-5,48	-5,08	-5,60	-5,15	-7,07	-5,26
<b>Velocidade</b>	70 a 130%	-19,18	-16,95	-19,20	-19,85	-17,17	-20,00
<b>Eficiência Operacional</b>	70 a 130%	-52,74	-52,54	-53,60	-53,68	-52,53	-52,63
<b>Carga Útil</b>	70 a 130%	-66,44	-61,02	-60,80	-61,03	-64,65	-65,26

As Tabelas 30 a 35 mostram esses parâmetros ordenados para cada tipo de caminhão, daquele que sua variação provoca maior aumento até aquele que provoca maior redução no custo operacional de transporte.

**Tabela 30** - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 1 .

<b><i>Variável</i></b>	<b><i>% de aumento do custo a cada 1% de acrescimo</i></b>
<b>Salário do Operador</b>	0,5014
<b>Encargos Sociais</b>	0,2911
<b>Coeficiente de Manutenção</b>	0,2055
<b>Tempo de Usina</b>	0,2055
<b>Tempo de Espera</b>	0,1263
<b>Descarregamento</b>	
<b>Consumo de Combustível</b>	0,1027
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	0,0913
<b>Taxa de Juros Anual</b>	0,0685
<b>Tempo de Espera Carregamento</b>	0,0309
<b>Capacidade Operacional de</b>	
<b>Carregamento</b>	-0,0913
<b>Velocidade</b>	-0,3197
<b>Eficiência Operacional</b>	-0,8790
<b>Carga Útil</b>	-1,1073

**Tabela 31 - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 2.**

<b>Variável</b>	<b>% de aumento do custo a cada 1% de acréscimo</b>
<b>Salário do Operador</b>	0,4373
<b>Encargos Sociais</b>	0,2641
<b>Coeficiente de Manutenção</b>	0,2542
<b>Tempo de Usina</b>	0,2260
<b>Tempo de Espera</b>	
<b>Descarregamento</b>	0,1262
<b>Taxa de Juros Anual</b>	0,0847
<b>Consumo de Combustível</b>	0,0847
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	0,0847
<b>Tempo de Espera Carregamento</b>	0,0301
<b>Capacidade Operacional de Carregamento</b>	-0,0847
<b>Velocidade</b>	-0,2825
<b>Eficiência Operacional</b>	-0,8757
<b>Carga Útil</b>	-1,0170



**Tabela 32** - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 3.

<b>Variável</b>	<b>% de aumento do custo a cada 1% de acréscimo</b>
<b>Salário do Operador</b>	0,4128
<b>Coeficiente de Manutenção</b>	0,2533
<b>Encargos Sociais</b>	0,2380
<b>Tempo de Usina</b>	0,2267
<b>Tempo de Espera</b>	
<b>Descarregamento</b>	0,1209
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	0,1200
<b>Taxa de Juros Anual</b>	0,1040
<b>Consumo de Combustível</b>	0,0933
<b>Tempo de Espera Carregamento</b>	0,0297
<b>Capacidade Operacional de</b>	
<b>Carregamento</b>	-0,0933
<b>Velocidade</b>	-0,3200
<b>Eficiência Operacional</b>	-0,8933
<b>Carga Útil</b>	-1,0133

**Tabela 33** - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 4.

<b><i>Variável</i></b>	<b><i>% de aumento do custo a cada 1% de crescimento</i></b>
<b>Salário do Operador</b>	0,3795
<b>Coeficiente de Manutenção</b>	0,2328
<b>Tempo de Usina</b>	0,2328
<b>Encargos Sociais</b>	0,2187
<b>Tempo de Espera</b>	
<b>Descarregamento</b>	0,1209
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	0,1103
<b>Taxa de Juros Anual</b>	0,0956
<b>Consumo de Combustível</b>	0,0858
<b>Tempo de Espera Carregamento</b>	0,0296
<b>Capacidade Operacional de</b>	
<b>Carregamento</b>	-0,0858
<b>Velocidade</b>	-0,3308
<b>Eficiência Operacional</b>	-0,8947
<b>Carga Útil</b>	-1,0172

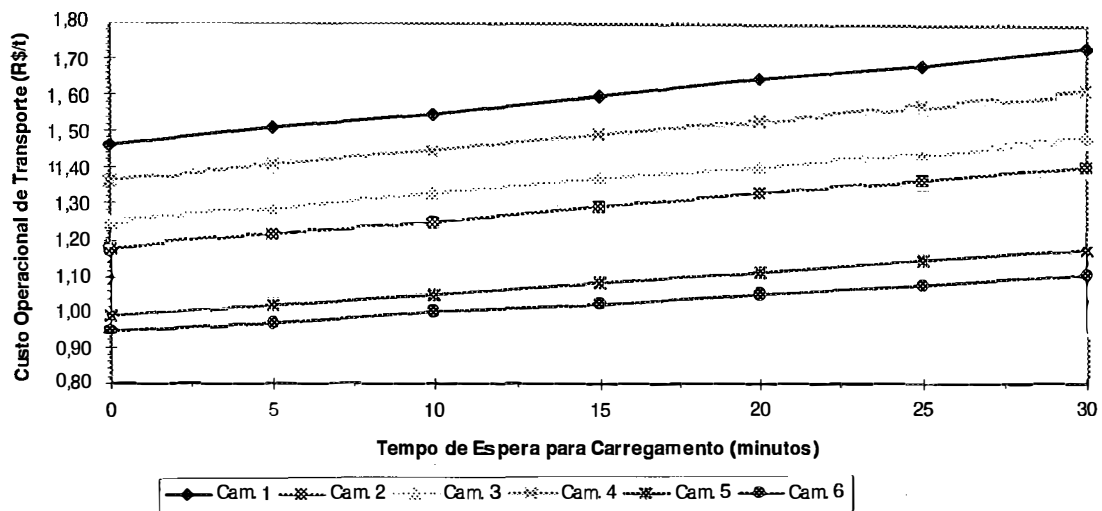
**Tabela 34** - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 5.

<b>Variável</b>	<b>% de aumento do custo a cada 1% de acréscimo</b>
<b>Salário do Operador</b>	0,3394
<b>Coeficiente de Manutenção</b>	0,2357
<b>Tempo de Usina</b>	0,2188
<b>Encargos Sociais</b>	0,2003
<b>Tempo de Espera</b>	
<b>Descarregamento</b>	0,1212
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	0,1178
<b>Consumo de Combustível</b>	0,1010
<b>Taxa de Juros Anual</b>	0,1010
<b>Tempo de Espera Carregamento</b>	0,0294
<b>Capacidade Operacional de</b>	
<b>Carregamento</b>	-0,1178
<b>Velocidade</b>	-0,2862
<b>Eficiência Operacional</b>	-0,8755
<b>Carga Útil</b>	-1,0775

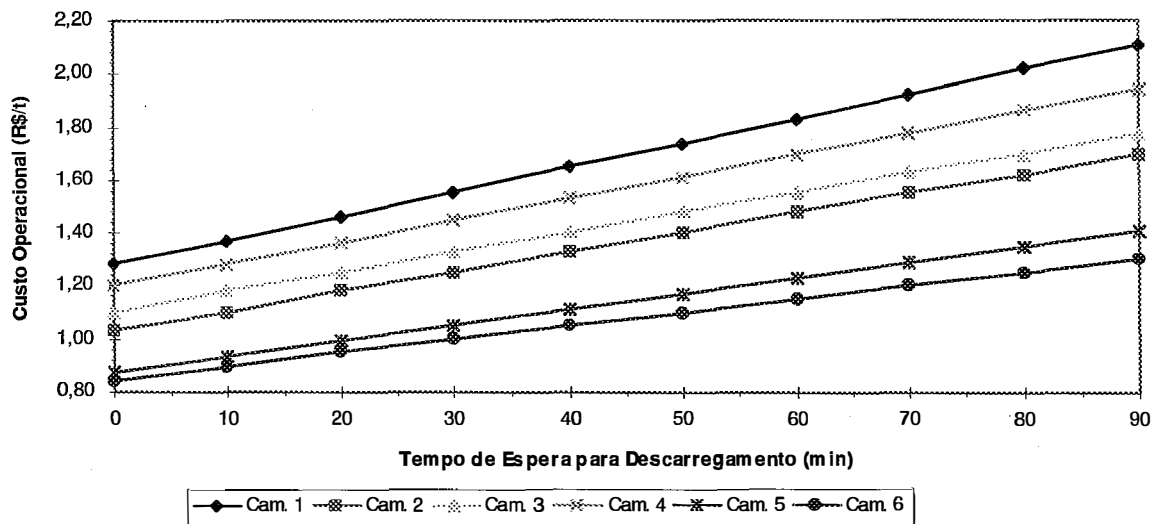
**Tabela 35** - Variação percentual do custo operacional de transporte para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Caminhão tipo 6.

<b>Variável</b>	<b>% de aumento do custo a cada 1% de acréscimo</b>
<b>Salário do Operador</b>	0,5014
<b>Coeficiente de Manutenção</b>	0,2055
<b>Tempo de Usina</b>	0,2055
<b>Encargos Sociais</b>	0,2911
<b>Custo Inicial do Equipamento</b>	0,0913
<b>Taxa de Juros Anual</b>	0,0685
<b>Tempo de Espera</b>	
<b>Descarregamento</b>	0,1263
<b>Consumo de Combustível</b>	0,1027
<b>Tempo de Espera Carregamento</b>	0,0309
<b>Capacidade Operacional de</b>	
<b>Carregamento</b>	-0,0913
<b>Velocidade</b>	-0,3197
<b>Eficiência Operacional</b>	-0,8790
<b>Carga Útil</b>	-1,1073

O salário dos motoristas é o parâmetro que maior aumento provoca no custo operacional de transporte, independente do tipo de caminhão considerado, assim como a carga útil é a variável que provoca maior redução no custo. Os tempos de fila, no entanto, são os parâmetros que devem receber maior atenção, pois sua variação depende exclusivamente do gerenciamento do sistema. Apesar de não serem os fatores de maior sensibilidade do custo, os tempos de espera são os que variam mais facilmente. A variação do custo operacional em função desses dois parâmetros está nas Figuras 33 e 34.



**Figura 33** - Variação do custo operacional de transporte em função do tempo de espera para carregamento. Cam. 1 a 6 são respectivamente caminhões tipo 1 ao 6 caracterizados na Tabela 14.

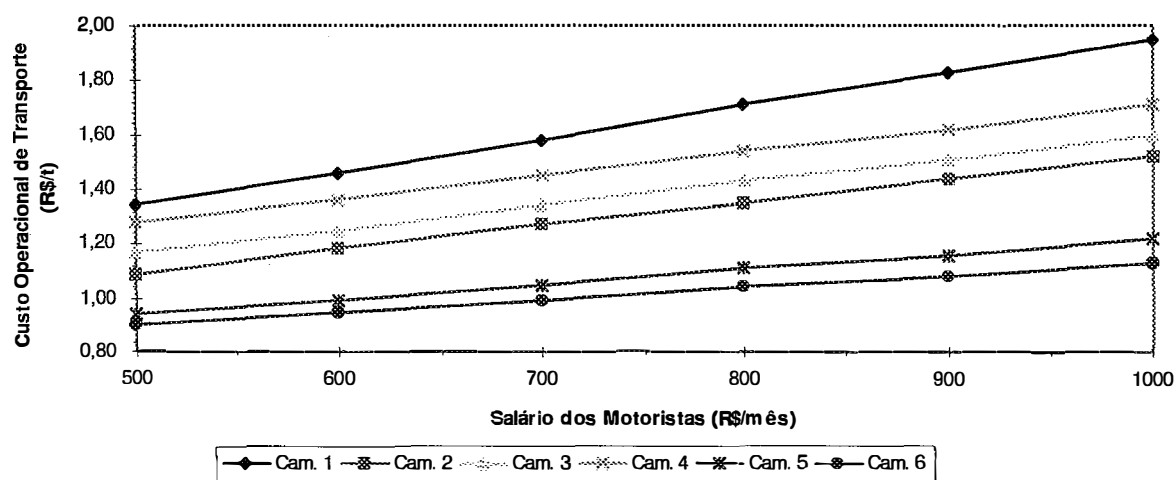


**Figura 34** - Variação do custo operacional de transporte em função do tempo de espera para descarregamento. Cam. 1 a 6 são respectivamente caminhões tipo 1 ao 6 caracterizados na Tabela 14.

O custo operacional do caminhão tipo 6 é o menos sensível ao aumento tempos de espera e dos salários devido à sua maior capacidade de carga. De forma inversa, o

caminhão tipo 1 é o mais sensível a essas variações. A seleção do equipamento, no entanto, deve ser feita com base no custo total de carregamento, reboque e transporte.

A variação do custo em função do aumento dos salários pagos está na Figura 35. Na Tabela 36 é feita a correlação entre salário e os parâmetros que dependem da forma de operação do caminhão: coeficiente de manutenção, consumo de combustível, velocidade e eficiência operacional. São apresentados os índices (em pontos percentuais) de variação de cada um desses parâmetros necessários para compensar um aumento de 10% no valor do salário pago aos motoristas. Apesar de não serem exclusivamente dependentes da forma de operação dos caminhões, o motorista pode ter forte influência sobre eles.



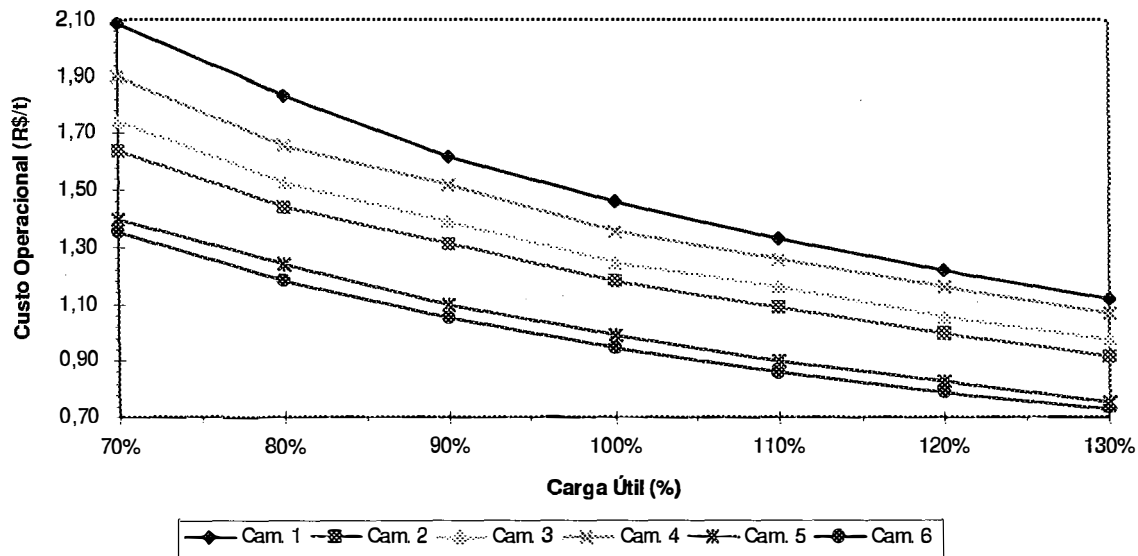
**Figura 35** - Variação do custo operacional de transporte em função do valor dos salários pagos aos motoristas. Cam. 1 a 6 são respectivamente caminhões tipo 1 ao 6 caracterizados na Tabela 14.

**Tabela 36** - Variação percentual de alguns parâmetros necessária para compensar o aumento do custo operacional de transporte gerado por 10% de aumento no salário pago aos motoristas dos caminhões que transportam cana-de-açúcar.

<i>Parâmetro</i>	<i>Cam. 1</i>	<i>Cam. 2</i>	<i>Cam. 3</i>	<i>Cam. 4</i>	<i>Cam. 5</i>	<i>Cam. 6</i>
<b>coeficiente de manutenção</b>	-24,4	-17,2	-16,3	-16,3	-14,4	-12,7
<b>consumo de combustível</b>	-48,8	-51,7	-44,2	-44,2	-33,6	-33,1
<b>velocidade</b>	15,7	15,5	12,9	11,5	11,9	8,7
<b>eficiência operacional</b>	5,7	5,0	4,6	4,2	3,9	3,3

Assim como no carregamento e no reboque, deve-se pensar que operadores melhores e mais motivados poderão reduzir o custo operacional de transporte através da combinação dos fatores acima. No caso específico do transporte, pequenas melhoras na eficiência operacional dos veículos são suficientes para justificar melhores salários. Em termos gerais, comparando-se as três operações (carregamento, reboque e transporte) o transporte é a que o investimento na mão-de-obra tem retorno mais certo, já que as variações necessárias para compensar salários melhores são menores.

Os principais fatores cujos aumentos provocam redução no custo de transporte quando aumentam são a eficiência operacional e a carga útil. A eficiência operacional depende da forma de operação dos equipamentos - como já discutido anteriormente - e da manutenção oferecida, que também afeta o coeficiente de manutenção. A idade da frota também é um ponto que influencia a eficiência operacional, devendo ser considerada no momento de se determinar o ponto ótimo de renovação da frota. A variação do custo em função da carga útil é mostrada na Figura 36.



**Figura 36** - Variação do custo operacional de transporte em função da carga útil transportada pelos veículos. Cam. 1 a 6 são respectivamente caminhões tipo 1 ao 6 caracterizados na Tabela 14.

A redução de custo gerada pelo aumento da carga útil transportada deve respeitar não só o limite técnico de carga de cada caminhão como também os limites definidos pela lei da balança, quando necessário. Além disso, o aumento do peso bruto provoca maior desgaste dos pneus e dos componentes mecânicos dos caminhões, que não foram considerados no modelo desenvolvido. O aumento da carga útil também deve ser ponderado em função da influência que pode ter sobre o carregamento e reboque. Essa situação será discutida na análise de sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte - item 4.2.4.

A análise de sensibilidade do custo de transporte difere da apresentada por FIGUEIREDO FILHO & ARRAES (1988), já que naquele estudo os fatores que mais contribuíram para o aumento do custo de transporte foram o preço do óleo Diesel e o consumo de combustível, enquanto no presente estudo os principais fatores são o custo da mão-de-obra (salários e encargos) e o custo de manutenção dos veículos. Em termos de redução de custo os resultados são semelhantes, com a carga útil transportada sendo o fator mais influente.



#### **4.2.4. Custo total - carregamento, reboque e transporte**

Apesar da análise de sensibilidade do custo de cada uma das operações ser extremamente útil no gerenciamento das atividades individualmente, é a análise de sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte que deve ser utilizada no gerenciamento da colheita.

Para facilitar a análise de sensibilidade foram criados três combinações de equipamentos, já que as possibilidades de combinação chegam a 33, considerando que caminhão e reboque seriam carregados pela mesma carregadora. A primeira combinação reúne os equipamentos menores, ou seja a carregadora tipo 1 e caminhão também tipo 1, sem necessidade de trator de reboque. A segunda combinação é intermediária, com carregadora tipo 2, trator de reboque tipo 1 e caminhão tipo 3. A terceira combinação é formada por equipamentos de capacidades maiores, com carregadora tipo 3, trator de reboque tipo 2 e caminhão tipo 6.

A Tabela 37 mostra a variação do custo em função de diversos parâmetros.

**Tabela 37 - Sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte à diversas variáveis.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Variação do Parâmetro</b>	<b>Variação do Custo Total (%)</b>		
	<b>Limites</b>	<b>comb 1</b>	<b>comb 2</b>	<b>comb 3</b>
<b>Salário do Operador</b>	R\$ 500 a R\$ 1.000	43,30	37,62	29,52
<b>Preço do Diesel</b>	R\$ 0,25 a R\$ 0,50	22,68	23,33	22,89
<b>Encargos Sociais</b>	70 a 130%	17,01	14,76	11,45
<b>Custo de Manutenção dos Equipamentos</b>	70 a 130%	13,40	14,76	14,46
<b>Custo de Manutenção dos Caminhões</b>	70 a 130%	10,31	10,00	8,43
<b>Tempo de Usina</b>	70 a 130%	9,28	8,10	7,23
<b>Custo Inicial dos Equipamentos</b>	70 a 130%	8,25	12,38	16,87
<b>Consumo de Combustível</b>	70 a 130%	6,19	6,19	7,83
<b>Tempo de Amarração e Reboque</b>	0 a 20 minutos	24,62	30,09	34,30
<b>Tempo de Espera - Descarregamento</b>	0 a 60 minutos	28,87	20,95	18,07
<b>Taxa de Juros Anual</b>	6 a 18%	6,19	9,05	8,43
<b>Tempo de Espera - Carregadoras e Tratores</b>	0 a 30 minutos	15,46	26,67	33,73
<b>Custo de Pneus dos Caminhões</b>	70 a 130%	2,06	2,08	2,41
<b>Tempo de Espera - Carregamento</b>	0 a 30 minutos	14,43	10,48	9,64
<b>Valor Final dos Equipamentos</b>	70 a 130%	1,03	0,95	-1,20
<b>Capacidade Operacional de Carregamento</b>	70 a 130%	-11,34	-14,29	-13,25
<b>Velocidade nas Estradas</b>	70 a 130%	-14,43	-11,43	-11,45
<b>Aproveitamento da Safra</b>	80 a 95%	-13,40	-12,38	-10,84
<b>Eficiência Operacional dos Equipamentos</b>	70 a 130%	-51,55	-46,67	-42,77
<b>Carga Útil Transportada</b>	70 a 130%	-82,99	-79,52	-69,28

As Tabelas 38, 39 e 40 mostram esses parâmetros ordenados para cada uma das combinações de equipamentos analisadas, daquele que sua variação provoca maior

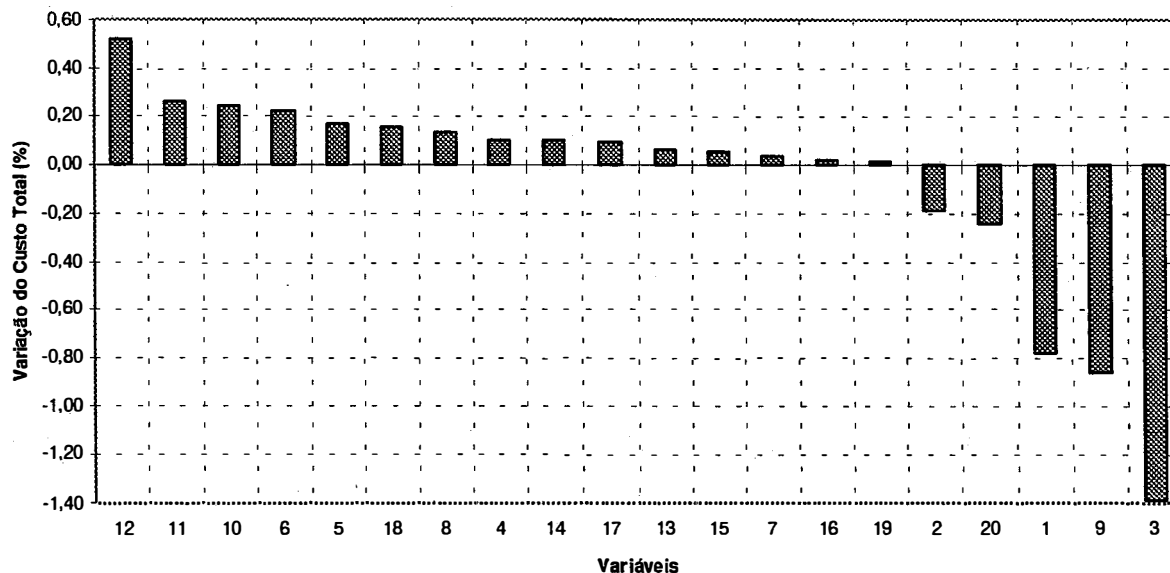
aumento até aquele que provoca maior redução no custo operacional total de carregamento, reboque e transporte.

Graficamente, o comportamento das três combinações de equipamentos analisadas é mostrado nas Figuras 37, 38 e 39, onde os parâmetros estão identificados da seguinte forma:

1. aproveitamento da safra;
2. capacidade operacional de carregamento;
3. carga útil transportada;
4. consumo de combustível;
5. custo de manutenção dos caminhões;
6. custo de manutenção dos equipamentos;
7. custo de pneus dos caminhões;
8. custo inicial dos equipamentos;
9. eficiência operacional dos equipamentos;
10. encargos sociais;
11. preço do óleo Diesel;
12. salário dos operadores;
13. taxa de juros anual;
14. tempo de amarração e reboque;
15. tempo de espera - carregadoras e tratores;
16. tempo de espera - carregamento;
17. tempo de espera - descarregamento;
18. tempo de usina;
19. valor final dos equipamentos;
20. velocidade média nas estradas.

**Tabela 38** - Variação percentual do custo operacional total para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Combinação número 1.

<i>Variável</i>	<i>% de aumento do custo a cada 1% de acrescimo</i>
<b>Salário do Operador</b>	0,51962
<b>Preço do Diesel</b>	0,26308
<b>Encargos Sociais</b>	0,24097
<b>Custo de Manutenção dos Equipamentos</b>	0,22333
<b>Custo de Manutenção dos Caminhões</b>	0,17183
<b>Tempo de Usina</b>	0,15467
<b>Custo Inicial dos Equipamentos</b>	0,13750
<b>Consumo de Combustível</b>	0,10317
<b>Tempo de Amarração e Reboque</b>	0,09848
<b>Tempo de Espera - Descarregamento</b>	0,09623
<b>Taxa de Juros Anual</b>	0,06190
<b>Tempo de Espera - Carregadoras e Tratores</b>	0,05153
<b>Custo de Pneus dos Caminhões</b>	0,03433
<b>Tempo de Espera - Carregamento</b>	0,02405
<b>Valor Final dos Equipamentos</b>	0,01717
<b>Capacidade Operacional de Carregamento</b>	-0,18900
<b>Velocidade nas Estradas</b>	-0,24050
<b>Aproveitamento da Safra</b>	-0,77726
<b>Eficiência Operacional dos Equipamentos</b>	-0,85917
<b>Carga Útil Transportada</b>	-1,38317



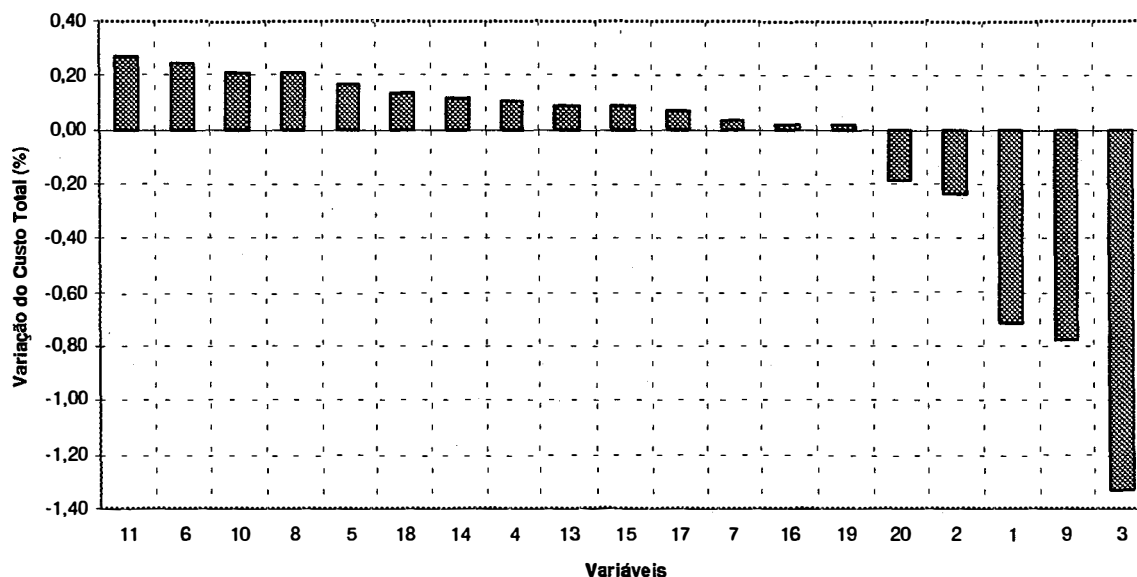
**Figura 37** - Análise de sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte para a combinação de equipamentos número 1.

Variáveis consideradas:

1. aproveitamento da safra;
2. capacidade operacional de carregamento;
3. carga útil transportada;
4. consumo de combustível;
5. custo de manutenção dos caminhões;
6. custo de manutenção dos equipamentos;
7. custo de pneus dos caminhões;
8. custo inicial dos equipamentos;
9. eficiência operacional dos equipamentos;
10. encargos sociais;
11. preço do óleo Diesel;
12. salário dos operadores;
13. taxa de juros anual;
14. tempo de amarração e reboque;
15. tempo de espera - carregadoras e tratores;
16. tempo de espera - carregamento;
17. tempo de espera - descarregamento;
18. tempo de usina;
19. valor final dos equipamentos;
20. velocidade média nas estradas.

**Tabela 39** - Variação percentual do custo operacional total para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Combinação número 2.

<b>Variável</b>	<b>% de aumento do custo a cada 1% de acrescimo</b>
<b>Salário do Operador</b>	0,45146
<b>Preço do Diesel</b>	0,27062
<b>Custo de Manutenção dos Equipamentos</b>	0,24600
<b>Encargos Sociais</b>	0,20909
<b>Custo Inicial dos Equipamentos</b>	0,20633
<b>Custo de Manutenção dos Caminhões</b>	0,16667
<b>Tempo de Usina</b>	0,13500
<b>Tempo de Amarração e Reboque</b>	0,12036
<b>Consumo de Combustível</b>	0,10317
<b>Taxa de Juros Anual</b>	0,09050
<b>Tempo de Espera - Carregadoras e Tratores</b>	0,08890
<b>Tempo de Espera - Descarregamento</b>	0,06983
<b>Custo de Pneus dos Caminhões</b>	0,03467
<b>Tempo de Espera - Carregamento</b>	0,01747
<b>Valor Final dos Equipamentos</b>	0,01583
<b>Velocidade nas Estradas</b>	-0,19050
<b>Capacidade Operacional de Carregamento</b>	-0,23817
<b>Aproveitamento da Safra</b>	-0,71810
<b>Eficiência Operacional dos Equipamentos</b>	-0,77783
<b>Carga Útil Transportada</b>	-1,32533



**Figura 38** - Análise de sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte para a combinação de equipamentos número 2.

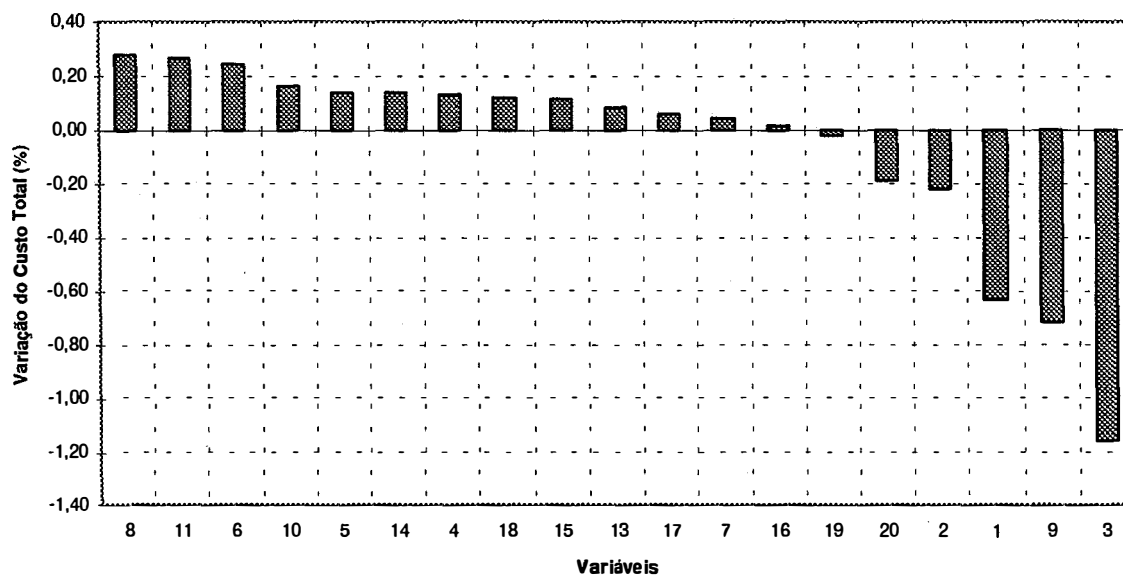
Variáveis consideradas:

1. aproveitamento da safra;
2. capacidade operacional de carregamento;
3. carga útil transportada;
4. consumo de combustível;
5. custo de manutenção dos caminhões;
6. custo de manutenção dos equipamentos;
7. custo de pneus dos caminhões;
8. custo inicial dos equipamentos;
9. eficiência operacional dos equipamentos;
10. encargos sociais;
11. preço do óleo Diesel;
12. salário dos operadores;
13. taxa de juros anual;
14. tempo de amarração e reboque;
15. tempo de espera - carregadoras e tratores;
16. tempo de espera - carregamento;
17. tempo de espera - descarregamento;
18. tempo de usina;
19. valor final dos equipamentos;
20. velocidade média nas estradas.

**Tabela 40** - Variação percentual do custo operacional total para cada ponto percentual de aumento em diversas variáveis. Combinação número 3.

<b><i>Variável</i></b>	<b><i>% de aumento do custo a cada 1% de acrescimo</i></b>
<b>Salário do Operador</b>	0,35425
<b>Custo Inicial dos Equipamentos</b>	0,28117
<b>Preço do Diesel</b>	0,26551
<b>Custo de Manutenção dos Equipamentos</b>	0,24100
<b>Encargos Sociais</b>	0,16220
<b>Custo de Manutenção dos Caminhões</b>	0,14050
<b>Tempo de Amarração e Reboque</b>	0,13720
<b>Consumo de Combustível</b>	0,13050
<b>Tempo de Usina</b>	0,12050
<b>Tempo de Espera - Carregadoras e Tratores</b>	0,11243
<b>Taxa de Juros Anual</b>	0,08430
<b>Tempo de Espera - Descarregamento</b>	0,06023
<b>Custo de Pneus dos Caminhões</b>	0,04017
<b>Tempo de Espera - Carregamento</b>	0,01607
<b>Valor Final dos Equipamentos</b>	-0,02000
<b>Velocidade nas Estradas</b>	-0,19083
<b>Capacidade Operacional de Carregamento</b>	-0,22083
<b>Aproveitamento da Safra</b>	-0,62877
<b>Eficiência Operacional dos Equipamentos</b>	-0,71283
<b>Carga Útil Transportada</b>	-1,15467





**Figura 39** - Análise de sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte para a combinação de equipamentos número 3.

Variáveis consideradas:

1. aproveitamento da safra;
2. capacidade operacional de carregamento;
3. carga útil transportada;
4. consumo de combustível;
5. custo de manutenção dos caminhões;
6. custo de manutenção dos equipamentos;
7. custo de pneus dos caminhões;
8. custo inicial dos equipamentos;
9. eficiência operacional dos equipamentos;
10. encargos sociais;
11. preço do óleo Diesel;
12. salário dos operadores;
13. taxa de juros anual;
14. tempo de amarração e reboque;
15. tempo de espera - carregadoras e tratores;
16. tempo de espera - carregamento;
17. tempo de espera - descarregamento;
18. tempo de usina;
19. valor final dos equipamentos;
20. velocidade média nas estradas.

O salário pago aos operadores é o parâmetro cujo aumento mais onera as operações de carregamento, reboque e transporte, enquanto o aumento da carga útil transportada provoca maior redução desse custo. Essa situação se repete para as três combinações de equipamentos consideradas, apesar da combinação 3 ser menos sensível a essas variações que as demais por ser formada por equipamentos de maior capacidade operacional.

O valor final dos equipamentos é um parâmetro com comportamento interessante, já que por um lado reduz a depreciação mas por outro aumenta o capital a ser remunerado. Dessa forma, seu aumento provoca aumento do custo para as combinações 1 e 2 (com equipamentos mais velhos, alguns já depreciados) e redução do custo para a combinação 3.

Os tempos de espera apesar de não aparecerem como os parâmetros cuja variação percentual são mais significativas, merecem especial atenção porque, conforme pode ser observado na Tabela 41, a cada 10 minutos acrescidos no ciclo dos equipamentos ocorrem aumentos no custo de carregamento, reboque e transporte que variam de 0 a 6%. Por serem tempos exclusivamente dependentes do gerenciamento do sistema de carregamento, reboque e transporte, devem merecer a maior atenção por parte dos técnicos das usinas.

**Tabela 41** - Aumento do custo total (em %) gerado por um acréscimo de 10 minutos no tempo de ciclo de cada equipamento.

<i><b>Equipamento</b></i>	<i><b>Combinação 1</b></i>	<i><b>Combinação 2</b></i>	<i><b>Combinação 3</b></i>
<b>Carregadora</b>	5,15	5,71	6,02
<b>Trator de Reboque</b>	0,00	2,86	4,82
<b>Caminhão</b>	4,64	3,33	3,01

Calculados esses acréscimos gerados por tempos perdidos, é possível calcular o custo do super dimensionamento da frota ao longo de uma safra. Para a empresa considerada, com uma moagem anual de aproximadamente 1.500.000 toneladas de cana, os valores seriam os mostrados na Tabela 42. Com esses valores podem ser repensadas

duas estratégias de gerenciamento utilizadas pelas usinas: a primeira é o super dimensionamento do sistema de carregamento (carregadoras e tratores de reboque) para evitar perda de tempo pelos caminhões e a segunda o superdimensionamento de todo o sistema de colheita para evitar paradas da indústria (moagem) durante o período de safra por falta de cana-de-açúcar.

**Tabela 42** - Aumento do custo total (em R\$) gerado por um acréscimo de 10 minutos no tempo de ciclo de cada equipamento ao longo de uma safra na empresa onde foi desenvolvido o estudo.

<i>Equipamento</i>	<i>Combinação 1</i>	<i>Combinação 2</i>	<i>Combinação 3</i>
<b>Carregadora</b>	150.000,00	180.000,00	150.000,00
<b>Trator de Reboque</b>	0,00	90.000,00	120.000,00
<b>Caminhão</b>	135.000,00	105.000,00	75.000,00

A maior sensibilidade do custo total de carregamento, reboque e transporte ao aumento do tempo de ciclo das carregadoras ocorre porque apesar do carregamento ser uma operação mais barata que o transporte, o tempo de ciclo das carregadoras é menor que o dos caminhões. Em relação às paradas da moagem, é preciso considerar que além do custo referente à paralisação da moagem (estimado pela empresa em US\$ 10.000,00 por hora), o menor aproveitamento do tempo durante a safra também aumenta o custo da colheita - como mostrado nas Tabelas 38, 39 e 40. De qualquer forma esse aumento de custo justifica investimentos no gerenciamento do sistema de colheita, como a aquisição de um software para dimensionamento e planejamento do sistema ou alocação de recursos humanos e materiais.

Para se obter uma densidade de carga melhor, aumentando a carga útil transportada, a capacidade operacional se reduz, em função do maior cuidado necessário na arrumação da carga. O tempo de amarração também aumenta, devido à maior altura da carga. A Tabela 43 mostra a equivalência desses parâmetros, ou seja, até quanto podem crescer o coeficiente de manutenção de todos os equipamentos e dos caminhões, o custo dos pneus dos caminhões, o consumo de combustível dos equipamentos, o tempo

de espera para carregamento e o tempo de amarração e reboque; e até quanto podem diminuir a capacidade operacional de carregamento, a velocidade média nas estradas e a eficiência operacional dos equipamentos, considerando o custo total de carregamento, reboque e transporte.

**Tabela 43** - Variação percentual permitida de alguns parâmetros - sem acréscimo do custo total de carregamento, reboque e transporte - para gerar aumento de 1% na carga útil transportada pelos veículos.

<i>Parâmetro</i>	<i>Combinação</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<b>tempo de espera para carregamento</b>	57,51	75,88	71,87
<b>custo de pneus - caminhões</b>	40,29	38,23	24,75
<b>tempo de amarração e reboque</b>	14,05	11,01	8,42
<b>consumo de combustível dos equipamentos</b>	13,41	12,85	8,85
<b>custo de manutenção dos caminhões</b>	8,05	7,95	8,22
<b>custo de manutenção dos equipamentos</b>	6,19	5,39	4,79
<b>capacidade operacional de carregamento</b>	-7,32	-5,56	-5,23
<b>velocidade nas estradas</b>	-5,75	-6,96	-6,05
<b>eficiência operacional dos equipamentos</b>	-1,61	-1,70	-1,62

Nessa situação também é preciso analisar - a exemplo da análise feita para variação de salários no item 4.2.3. - o conjunto de parâmetros envolvidos, e não cada um deles individualmente. Dificilmente seria viável aumentar a carga útil sem aumento de custos, principalmente em função da eficiência operacional dos equipamentos.

Assim como foi feito para cada uma das operações individualmente, também foi analisada a viabilidade de aumentar os salários pagos para se trabalhar com mão-de-obra melhor qualificada. Individualmente, em todas as operações, mostrou-se viável a possibilidade de remunerar melhor a mão-de-obra mais produtiva, com vantagem para a operação de transporte, onde os ganhos de produtividade necessários são menores. A Tabela 44 mostra essa comparação para o sistema de carregamento, reboque e transporte.

**Tabela 44** - Variação percentual de alguns parâmetros necessária para compensar o aumento do custo operacional total gerado por 10% de aumento no salário pago aos operadores de máquinas e caminhões.

<i>Parâmetro</i>	<i>Combinação 1</i>	<i>Combinação 2</i>	<i>Combinação 3</i>
<b>custo de manutenção dos equipamentos</b>	-23,3	-18,4	-14,7
<b>consumo de combustível</b>	-50,4	-43,8	-27,1
<b>capacidade operacional - carregamento</b>	27,5	19,0	16,0
<b>velocidade nas estradas</b>	21,6	23,7	18,6
<b>eficiência operacional</b>	6,00	5,80	5,00

Verifica-se que a hipótese de remunerar melhor a mão-de-obra mais produtiva pode ser vantajosa. A análise do sistema como um todo é especialmente útil pois atualmente a remuneração de motoristas e tratoristas é a mesma por exigência do sindicato, que é um só. A combinação de número 3 é a que menores ganhos de produtividade exige para compensar o aumento do custo da mão-de-obra; portanto, a política salarial empregada em várias usinas de remunerar melhor os operadores de equipamentos maiores (maior capacidade operacional) é correta.

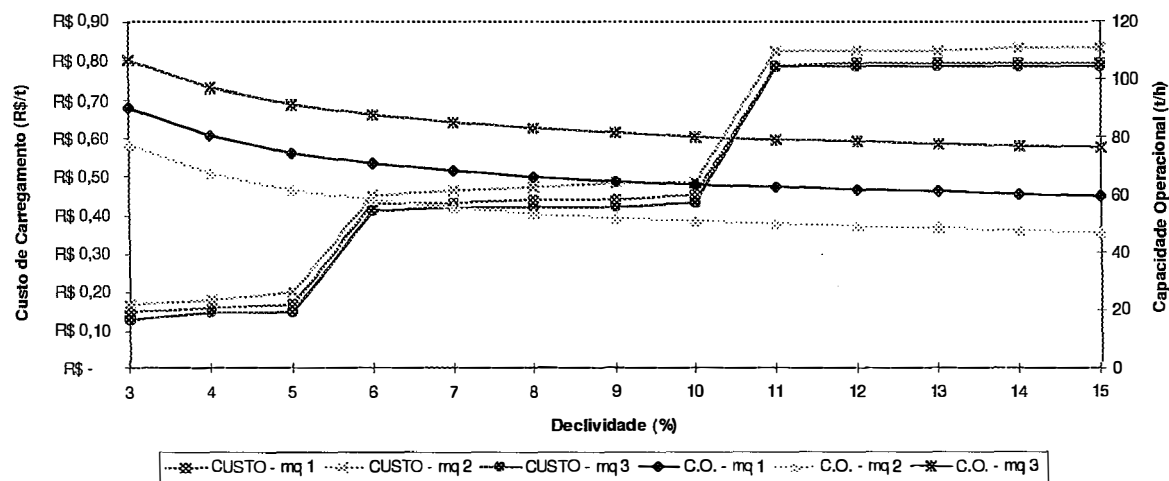
A análise de sensibilidade do custo total difere da apresentada por MILAN (1992), já que naquele estudo o fator que mais contribuiu para o aumento do custo foi o preço inicial dos caminhões - independente da área e da distância considerada - enquanto no presente estudo o principal fator é o custo da mão-de-obra (salários e encargos). As diferenças nos resultados obtidos nos dois modelos podem ser creditadas a variações reais nos salários pagos e a pequenas diferenças entre os sistemas modelados (distâncias de transporte, principalmente). Em termos de redução de custo os resultados são semelhantes, com a carga útil transportada sendo o fator mais influente, em distâncias superiores a 10 km.

### 4.3. Cenários

Para avaliar a influência da declividade no custo e na capacidade operacional de carregamento, foram criados os seguintes cenários:

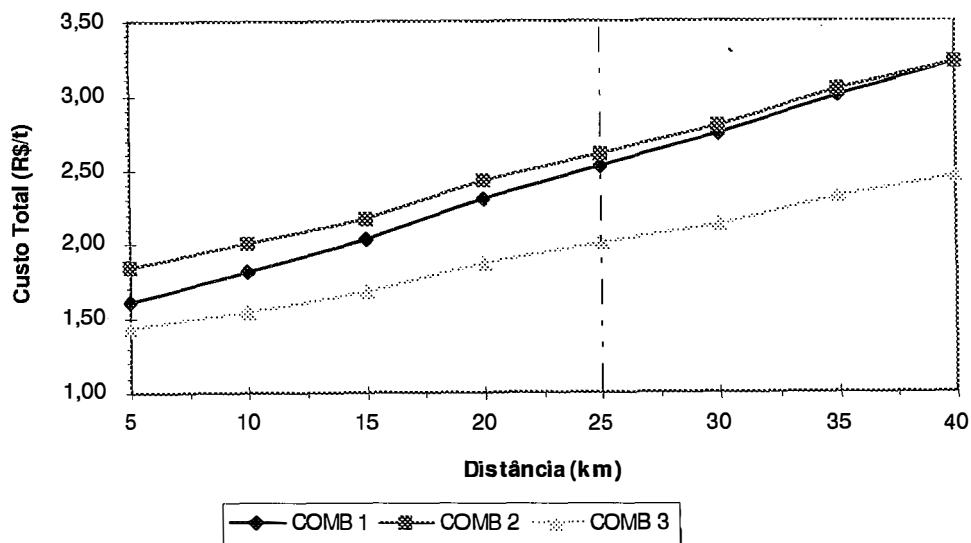
- de 3 a 5% de declividade o ritmo de carregamento é rápido, sem tempo de espera para carregamento e o fator de manutenção das carregadoras é de 100% do valor inicial a cada 10.000h;
- de 6 a 10% de declividade o ritmo de carregamento é médio, com 5 minutos de espera para carregamento e 115% de fator de manutenção;
- de 11 a 15% de declividade o ritmo de carregamento é lento, com 10 minutos de espera para carregamento e 130% de fator de manutenção.

Esses cenários foram criados visando simular as maiores dificuldades para carregamento em áreas declivosas tornando o ritmo mais lento, já que exige maiores cuidados para evitar o tombamento lateral dos veículos, principalmente na saída do talhão (veículo carregado). Estima-se também um aumento do custo de manutenção das máquinas por operarem em condições extrema, onde há maior exigência dos mecanismos. Essa situação é ilustrada na Figura 40. Foi considerado um canal de segundo corte, com 90 t/ha de produtividade agrícola e 350m de comprimento de campo.



**Figura 40** - Variação do Custo e da Capacidade Operacional de Carregamento em função da declividade. Mq 1, 2 e 3 correspondem aos tipos de máquinas carregadoras de cana caracterizadas na Tabela 7.

Outra situação analisada através de cenários foi a adequação dos equipamentos à distância da frente de carregamento até a indústria. Foram utilizadas as três combinações de equipamentos definidas no item 4.2.4 e consideradas distâncias de 5 a 40 km. Para definir a melhor combinação de equipamentos é utilizado o custo total, considerados os ritmos médios de ciclo, 5 minutos de espera para carregamento, 20 minutos de espera para o carregamento e 5 minutos para entrada na palhada. O comportamento estimado pelo modelo para os 3 conjuntos de equipamentos está na Figura 41.

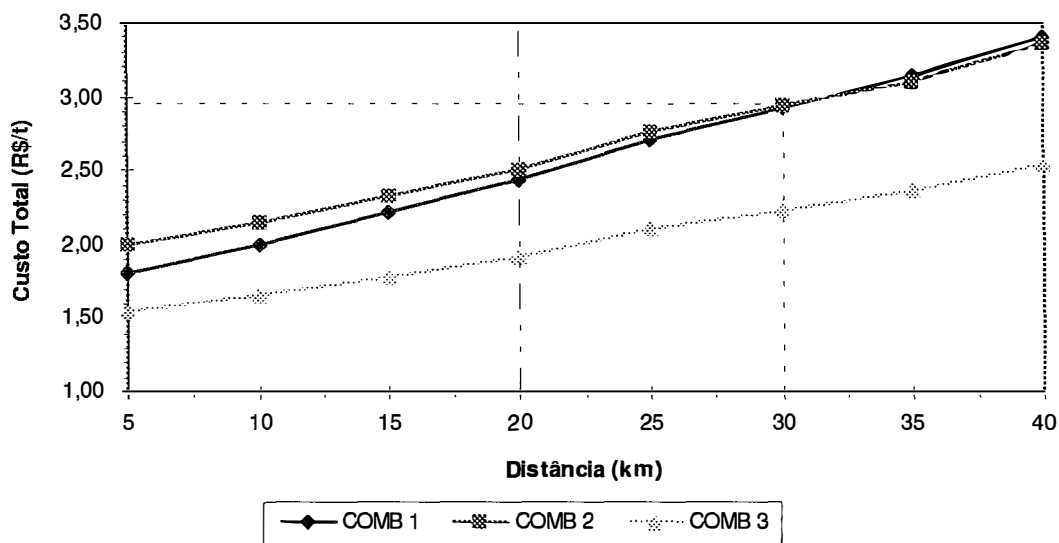


**Figura 41** - Evolução do custo total de carregamento, reboque e transporte de cana-de-açúcar em função da distância, considerando 20 minutos de espera para descarregamento. Comb 1, 2 e 3 são respectivamente as combinações de equipamentos 1, 2 e 3 definidas no item 4.2.4.

A combinação de equipamentos número 3 é a que apresenta menor custo. Entretanto, para distâncias menores que 5 km a diferença é pequena e o treminhão provavelmente passará a perder tempo aguardando julietas, já que o número de implementos necessário para haver sobra no campo crescerá. Para construção do gráfico foi considerada uma situação na qual não há espera por julietas carregadas, já que para cada caminhão estão disponíveis 3 implementos. No caso do caminhão carga dupla, a mesma situação foi considerada, porém com 1,5 julietas por caminhão. O conjunto número 1 tem menor custo que o número 2 até uma distância entre 35 e 40 km, entretanto a partir dos 25 km de distância os custos podem ser considerados equivalentes.

Caso o tempo de espera para descarregamento suba para 40 minutos, a evolução do custo total passa a ser a apresentada na Figura 42. Ocorre um aumento na diferença do custo da combinação 3 para as demais, enquanto a equivalência entre os conjuntos 1 e 2 ocorre aos 20 km de distância e a combinação 2 passa a ser mais econômica em distâncias superiores a 30 km.





**Figura 42** - Evolução do custo total de carregamento, reboque e transporte de cana-de-açúcar em função da distância, considerando 40 minutos de espera para descarregamento. Comb 1, 2 e 3 são respectivamente as combinações de equipamentos 1, 2 e 3 definidas no item 4.2.4.

Essas variações do comportamento dos custos das três combinações de equipamentos ocorrem devido às diferentes participações dos custos de carregamento, reboque e transporte em cada uma delas. Na combinação 3 por exemplo, não existe custo de reboque de implementos, no entanto o custo do transporte é superior ao das demais combinações.

## 5. CONCLUSÕES

As conclusões desse estudo foram:

- o objetivo geral do estudo foi atingido, uma vez que o modelo desenvolvido é uma ferramenta que permite a análise de todo o sistema de carregamento, reboque e transporte de cana-de-açúcar;
- o modelo desenvolvido apresentou uma aproximação entre dados estimados e dados reais - obtidos na empresa onde foram feitas as medições e também em outras empresas - que permite a sua utilização para simulação do sistema de carregamento, reboque e transporte considerado;
- as análises de sensibilidade desenvolvidas permitiram identificar as variáveis que mais influenciam o custo de cada uma das operações analisadas - carregamento, reboque e transporte - e também do custo total do sistema, sendo que, ao contrário de estudos anteriores que apontavam os tempos perdidos como o parâmetro de maior influência sobre o custo, a mão-de-obra foi o fator cujo aumento mais onera a operação do sistema, enquanto a carga útil transportada foi o fator cujo aumento mais reduz esse custo;
- os tempos perdidos, no entanto, merecem especial atenção já que dependem exclusivamente de fatores gerenciais - ao analisar o custo da ociosidade dos equipamentos ao longo de uma safra para a empresa onde foram levantados os dados de campo, verificou-se que os valores envolvidos justificam a alocação de recursos materiais e humanos no gerenciamento do sistema de colheita;
- apesar da grande participação da mão-de-obra no custo, as análises realizadas mostraram a viabilidade de melhorar a remuneração dos operadores em busca de produtividade, principalmente através do aumento da eficiência operacional dos equipamentos;
- o aumento da carga útil transportada - que aparece como a variável de maior influência na redução do custo total - dificilmente se viabilizaria exatamente por

interferir na disponibilidade mecânica dos equipamentos e, conseqüentemente, na sua eficiência operacional, dessa forma o parâmetro de redução de custo mais influente passa a ser a eficiência operacional dos equipamentos;

- observou-se que, ao contrário do que se utiliza hoje para dimensionar a frota da empresa, o aumento do tempo de ciclo das carregadoras de cana-de-açúcar - que pode ser gerado pelo super dimensionamento da frota - é mais oneroso que o aumento do tempo de ciclo dos caminhões;
- o planejamento do sistema mecanizado como um todo é fundamental, já que tratores de 140 cv de potência apresentam custo equivalente aos de 120 cv quando o número de horas utilizadas na entressafra passa de 1.400h (condição verificada na empresa onde foram feitas as medições) para 2.100h, ou quando a eficiência operacional dos tratores de 140 cv for 20 a 30% maior;
- a combinação de equipamentos de maior porte (carregadora com garra para 1.500 kg, tratores de reboque de 140 cv e treminhão) foi a que apresentou menor custo total - carregamento, reboque e transporte - em distâncias de transporte entre 5 e 40 km, com 20 minutos de espera para descarregamento e sem fila de caminhões para carregamento;
- com o aumento do tempo de espera para descarregamento a diferença existente entre a combinação de equipamentos de maior capacidade e as demais combinações passa a ser ainda maior;
- as equações empíricas desenvolvidas atingiram uma aproximação suficiente para fins de simulação, no entanto, os intervalos de segurança ficaram restritos; sugere-se o desenvolvimento de outro estudo com maior número de amostragens, que deverá aumentar a possibilidade de utilização desse recurso para determinar a velocidade média dos caminhões e a capacidade operacional de carregamento;
- pela simplicidade de obtenção dos dados, a utilização de equações empíricas é uma forma de estimar esses parâmetros em situações práticas, já que a utilização de valores médios, apesar de mais simples, pode levar a erros na estimativa de custos para determinadas situações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAYNAYAKA,S.W.; HIDE,H; MOROSIUK,G.; ROBISON,R. **Tables for estimating vehicle operating costs on rural roads in developing countries.** Crowthorne, Transport and Road Research Laboratory, 1976. 59p. (Laboratory Report, 723).
- ALVAREZ,J.; CRANE,D.R.; SPREEN,T.H.; KIDDER,G. A yeld prediction model for Florida sugarcane. **Agricultural Systems**, Essex, **9**: 161-79, 1982.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data: D230.4. In: \_\_\_\_\_ . ASAE Standards - 1989. 36 ed. St. Joseph, 1989. p. 91-7.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management: EP496. In: \_\_\_\_\_ . ASAE Standards - 1991, 38 ed. St. Joseph, 1991. p. 289-94.
- BALASTREIRE,L.A. Gerenciamento de operações agrícolas mecanizadas. In: \_\_\_\_\_ . Máquinas agrícolas. São Paulo, Manole, 1987. p. 30-61.
- BALASTREIRE,L.A.; GOMES,E.S.; LOPES,M.B. Gerenciamento de operações agrícolas mecanizadas. In: CICLO DE ESTUDOS SOBRE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA,4., Campinas, 1990. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1990. p. 196-205.

BOFILL,A.; DÍAZ,J.A.; GUYÓN,L.; MARTÍNEZ,R. Application of mathematical methods to the management of sugar cane enterprises. *Computer Applications in Food Production and Agricultural Engineering*. IFIP, 1982. p. 175-190.

BRAITHWAITE,P.G. Meeting the mecanization needs of a sugar estate. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS,20. São Paulo, 1989. Anais. São Paulo, ISSCT, 1989. p. 968-76.

BRAUNBECK,O.A. & PINTO,A.C.P. Carregamento de cana inteira. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., Piracicaba, 1988. Anais. Piracicaba, Copersucar, 1988. p. 342-74.

COCHRAN,B.J. & WHITNEY,R.W. A technique for designing transport systems for sugarcane. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS,16., São Paulo, 1977. Anais. São Paulo, ISSCT, 1977. p. 2069-79.

CROSSLEY,C.P. Transport at the smallholder level in development countries: a computer model to predict vehicle performance and costs. Silsoe, 1980. 86p. (M.Sc - National College of Agricultural Engineering.)

CROSSLEY,C.P. Examples of the use of “carta”: a computer program to predict transport vehicle performance and costs in developing countries. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, **27**: 155-62, 1982.

CROSSLEY,C.P. Rural transport planning in developing countries. Silsoe, 1985. (Ph.D. - Cranfield Institute of Technology. )

CROSSLEY,C.P. The application of a computer program to the analysis of sugar cane transport: a case study. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, **36**: 17-30, 1987.

CROSSLEY,C.P. Computer programs for mechanization and transport planning in developing countries. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 88 , Paris, 1988. Paper. Paris, Ag Eng, 1988. 12p.

FIGUEIREDO FILHO,O. Transporte de cana-de-açúcar: incidência dos principais parâmetros na capacidade de transporte da frota. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 3., Piracicaba, 1986. Anais . Piracicaba, Copersucar, 1986. p. 523-31.

FIGUEIREDO FILHO,O. & ARRAES, N.A.M. Corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar: análise de sensibilidade dos parâmetros que influenciam no custo dos sistemas. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA,4 , Piracicaba, 1988. Anais. Piracicaba, Copersucar, 1988. p. 315-41.

FIGUEIREDO FILHO,O.; BANCHI,A.D.; BRAUNBECK,O.A. Transporte de cana-de-açúcar: incidência das principais variáveis na capacidade de transporte da frota. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 2., São Paulo, 1984. Anais. São Paulo, Copersucar, 1984. p. 387-400.

GAGO,J.S.N. Corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar: comparação de sistemas alternativos. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 3., Piracicaba, 1986. Anais. Piracicaba, Copersucar, 1986. p. 489-522.

- GENTIL,L.V.B. & RÍPOLI.T.C. Analysis and simulation of sugarcane transport, reception and mechanical harvesting systems. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 16., São Paulo, 1977. Anais. São Paulo, ISSCT, 1977. p. 2092-103.
- GONÇALVES,N.H.; LIMA,E.B.; BANCHI,A.D.; PINTO,R.S.A.;LOPES,J.R. Eficiências de uso de máquinas agrícolas. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., Águas de São Pedro, 1993. Anais. Piracicaba, STAB, 1993. p.165-8.
- HAHN,M.H.; BRAUNBECK,O.A.; RIBEIRO,R.V. Um simulador para o problema de transporte de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., Campinas, 1994. Jaboticabal, SBEA, 1994. n° 94-4-104, 23p.
- HAHN,M.H.; BRAUNBECK,O.A.; RIBEIRO,R.V. Um novo software para o planejamento de transporte de cana. Álcool & Açúcar. São Paulo, 79: 36-40, abr./maio 1995.
- HIDE,H.; ABAYNAYAKA,S.W.; SAYER,I.; WYATT,R.J. The Kenya road transport cost study:\_research on vehicle operating costs. Crowthorne, Transport and Road Research Laboratory, 1975. 70p. (Laboratory Report, 672).
- LIBUNAO,O.S. Modelling a sugarcane transportation system for simulation in the philippines. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS,16., São Paulo,1977. Anais. São Paulo, ISSCT, 1977. p. 2081-91.

- LOEWER,O.J.; BALASTREIRE,L.A.;COBRA,A.P.; OMETTO,D.A. **Optimization of sugarcane harvesting systems**. New Orleans, American Society of Agricultural Engineers, 1979. 8p.(ASAE Paper, 79-1532).
- LOPES,M.B.; LUNARDI FILHO,D.; PECHE FILHO,A.; COELHO,J.L.D.; MILAN,M. **Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar. STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, **13** (3): 26-30, jan./fev. 1995.
- MILAN,M. **Improving operational management of harvest, transport and mechanization of sugar cane in Brazil**. Silsoe, 1992. 162 p. (Ph.D. - Cranfield Institute of Technology).
- MOLINA JÚNIOR,W.F. **Depreciação do trator agrícola no Brasil: valor corrente de mercado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., Campinas, 1994. Jaboticabal, SBEA, 1994. n° 94-4-189, 9p
- NORONHA,J.F. **Custos dos sistemas tratorizados na agricultura brasileira**. Piracicaba, ESALQ, 1991. 32p.
- PINTO,F.A.C.; VIEIRA,L.B.; ZINATO,C.E.; DIAS,G.P. **Análise dos sistemas de transporte tradicional de cana-de-açúcar (std) e de transbordo (stb)**. Viçosa, UFV / Departamento de Engenharia Agrícola. s.d. 10 p.
- SCANIA. **Sisc: sistema Scania de simulação de custos operacionais**. São Bernardo do Campo, Scania, 1991. 110p.
- SHUKLA,L.N.; CHISHOLM,T.S.; PHILLIPS,A.L. **Computer program for analysing harvesting, loading and transportation of sugarcane**. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 16 (3): 420-5, 1973



## **APÊNDICE 1**



<b>MODELO DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE</b>				
<b>DESEMPENHO E CUSTOS</b>				
<b>Carregamento:</b>				
<b>Talhão:</b>				
Comprimento de Campo (m):		350		
Produtividade Agrícola (t/ha):		90		
Número do Corte:		2		
Declividade (%):		8,0		
<b>Máquina:</b>				
Tipo de Máquina (1,2 ou3):		1		
Potência do Motor (cv):		84		
Tempo de Ciclo (s):		31,6		
Capacidade Operacional (t/h):		55,5		
<b>Características do Ciclo</b>				
Ritmo (1-lento;2-médio;3-rápido):		2		
Tempo de Amarração e Reboque (min):		7,6		
Tempo de Entrada no Talhão (min):		5,0		
Tempo de Espera (min):		10,0		
Tempo de Carregamento do Caminhão (min):		24,9		
Tempo de Carregamento da Julieta(min):		16,2		
Tempo Total de Ciclo -Caminhão (min):		47,5		
Tempo Total de Ciclo - Julieta (min):		38,8		
<b>Características Operacionais</b>				
Jornada de trabalho diária (h):		24		
Eficiência operacional (%):		70%		
Número de operadores:		2,33		
Horas efetivas (h):		16,80		
Número de Viagens Carregadas / Dia (Caminhão):		21,2		
Capacidade Diária de Carregamento (t/dia):		488,4		
Número de Viagens Carregadas / Dia (Julieta):		26,0		
Capacidade Diária de Carregamento (t/dia):		389,5		
Horas Máquina / Dia:		10,9		
Capacidade Diária de Carregamento Média (t/dia):		438,9		
<b>Reboque</b>				
Tipo do Trator:		2		
<b>Características do Ciclo</b>				
Tempo de Carregamento da Julieta(min):		16,2		
Tempo de Amarração e Reboque (min):		7,6		
Tempo de Engate da(s) Julieta(s) (min):		3,9		
Tempo de Entrada no Talhão (min):		5,0		
Tempo de Espera (min):		10,0		
Tempo Total de Ciclo (h):		0,7		
<b>Características Operacionais</b>				
Jornada de trabalho diária (h):		24		
Eficiência operacional (%):		75%		
Número de operadores:		2,33		
Horas efetivas (h):		18,00		
Número de Viagens Rebocadas / Dia:		25,3		
Horas Máquina / Dia:		12,6		
<b>Transporte</b>				
<b>Veículo</b>				
Tipo de Veículo		6		
Capacidade de Carga do Caminhão (t):		23,0		
Tara do Caminhão (t):		12,0		
Capacidade de Carga da Julieta (t):		15,0		
Tara da Julieta (t):		7,5		
Tara da Composição (t):		27,0		
PBTC (t):		80,0		
Carga Útil (t):		53,0		
Potência do motor (cv):		354		
Número de Julieta:		2		
Número de Marchas:		16		

Ano de Fabricação do Caminhão:	94		
<b>Estradas</b>			
<b>Trecho 1 - Terra</b>			
Distância (km):	5,60		
Distância em Active (km):	2,50		
Distância em Declive (km):	3,00		
Tipo de Piso (1-ruim; 2-médio; 3- bom):	1,00		
Distância Vertical (m):	30,00		
Rampa Média (m/km):	5,38		
<b>Trecho 2 - Asfalto I</b>			
Distância (km):	10,40		
Distância em Active (km):	6,30		
Distância em Declive (km):	1,50		
Tipo de Piso (1-ruim; 2-médio; 3- bom):	1,00		
Distância Vertical (m):	125,00		
<b>Trecho 3 - Asfalto II</b>			
Distância (km):	-		
Distância em Active (km):	-		
Distância em Declive (km):	-		
Tipo de Piso (1-bom;2-médio;3-ruim):	-		
Distância Vertical (m):	-		
<b>Velocidade Vazio (km/h):</b>			
Terra:	39,5		
Asfalto I:	65,3		
Asfalto II:	(13,8)		
<b>Velocidade Carregado (km/h):</b>			
Terra:	30,3		
Asfalto I:	55,5		
Asfalto II:	0,8		
<b>Tempo de Ciclo</b>			
Ritmo (1-lento;2-médio;3-rápido):	2		
Tempo de Viagem Usina - Lavoura (min):	18,1		
Tempo de Desengate da Julieta (min):	3,9		
Tempo de Espera para Carregamento (min):	5,0		
Tempo de Carregamento (min):	24,9		
Tempo de Amarração e Reboque (min):	7,6		
Tempo de Espera da(s) Julieta(s) (min):	-		
Tempo de Engate da(s) Julieta(s) (min):	3,9		
Tempo de Viagem Lavoura - Usina (min):	22,3		
Tempo de Espera para Descarregamento (min):	20,0		
Tempo de Usina Lento (min):	57,4		
Tempo de Usina Médio (min):	40,0		
Tempo de Usina Rápido (min):	22,6		
Tempo de Usina (min):	40,0		
Tempo Total (h):	2,43		
<b>Características Operacionais</b>			
Jornada de trabalho diária (h):	24		
Eficiência operacional (%):	70%		
Número de operadores:	2,33		
Horas efetivas (h):	16,80		
Distância da Frente de Corte (km):	16,0		
Número de Viagens / Dia:	6,92		
Capacidade de Transporte (t/dia):	366,8		
<b>Características da Safra</b>			
Número de dias consecutivos:	210		
Aproveitamento médio:	87%		
Número de dias efetivos:	182,7		
Número de dias efetivos / mês:	26,1		
<b>Cálculo de Custos</b>			
<b>Reboque</b>			
Horas Trabalhadas na Safra:	2.302,0		

Horas Trabalhadas na Entresafra:		1.400,0		
Horas Trabalhadas por Ano:		3.702,0		
Valor Inicial do Trator:	R\$	51.750,00		
Valor Final do Trator:	R\$	24.032,70		
Depreciação (R\$/ano):	R\$	5.543,46		
Depreciação (R\$/hora):	R\$	1,50		
Taxa de Juros Anual:		12%		
Remuneração do Capital (R\$/ano):	R\$	4.546,96		
Remuneração do Capital (R\$/hora):	R\$	1,23		
Administração (R\$/ano):	R\$	504,52		
Administração (R\$/hora):	R\$	0,14		
Consumo Horário de Combustível (l/h):		13,20		
Preço do Óleo Diesel (R\$/l):	R\$	0,29		
Combustível (R\$/hora):	R\$	3,83		
Lubrificantes (R\$/hora):	R\$	0,57		
Fator de Manutenção (a cada 10.000h):		100%		
Manutenção (R\$/hora):	R\$	3,14		
Salário Mensal do Operador:	R\$	600,00		
Encargos Sociais:		85%		
Custo Anual da Mão-de-Obra:	R\$	31.035,60		
Operador (R\$/hora):	R\$	8,38		
Custo Total (R\$/ano):	R\$	69.545,89		
Custo Total (R\$/hora):	R\$	18,79		
Custo por Viagem Rebocada:	R\$	9,36		
Custo por Tonelada de Cana Rebocada:	R\$	0,62		
<b>Carregamento</b>				
Horas Trabalhadas na Safra:		1.995		
Horas Trabalhadas na Entresafra:		250		
Horas Trabalhadas por Ano:		2.245		
Valor Inicial do Trator:	R\$	28.550,00		
Valor Inicial do Implemento:	R\$	12.450,00		
Valor Final da Máquina:	R\$	9.415,79		
Depreciação (R\$/ano):	R\$	3.948,03		
Depreciação (R\$/mês):	R\$	329,00		
Depreciação (R\$/hora):	R\$	1,15		
Taxa de Juros Anual:		12%		
Remuneração do Capital (R\$/ano):	R\$	3.024,95		
Remuneração do Capital (R\$/mês):	R\$	252,08		
Remuneração do Capital (R\$/hora):	R\$	0,88		
Administração (R\$/ano):	R\$	348,65		
Administração (R\$/mês):	R\$	29,05		
Administração (R\$/hora):	R\$	0,10		
Consumo Horário de Combustível (l/h):	R\$	4,71		
Preço do Óleo Diesel (R\$/l):	R\$	0,29		
Combustível (R\$/hora):	R\$	1,37		
Combustível (R\$/mês):	R\$	389,30		
Lubrificantes (R\$/hora):	R\$	0,21		
Lubrificantes (R\$/mês):	R\$	58,44		
Fator de Manutenção a cada 10.000h:		100%		
Manutenção (R\$/hora):	R\$	4,10		
Manutenção (R\$/mês):	R\$	1.168,55		
Salário Mensal do Operador:	R\$	600,00		
Encargos Sociais:		85%		
Custo Anual da Mão-de-Obra:	R\$	31.035,60		
Custo Mensal da Mão-de-Obra:	R\$	2.586,30		
Operador (R\$/hora):	R\$	9,07		
Custo Total (R\$/ano):	R\$	37.910,55		
Custo Total (R\$/mês):	R\$	4.812,72		
Custo Total (R\$/hora):	R\$	16,89		
Custo por Tonelada de Cana Carregada:	R\$	0,42		
<b>Transporte</b>				
Quilometragem Percorrida na Safra:		20.231,31		
Quilometragem Percorrida na Entresafra:		16.000,00		
Quilometragem Percorrida no Ano:		36.231,31		

Quilometragem Percorrida por Mês de Safra:		2.890,19		
Valor Inicial do Caminhão (com Carrocerta):	R\$	100.000,00		
Valor Inicial do Implemento (Unitário):	R\$	14.800,00		
Valor Final do Caminhão (com Carrocerta):	R\$	40.000,00		
Valor Final do Implemento (Unitário):	R\$	5.920,00		
Depreciação (R\$/ano):	R\$	9.276,00		
Depreciação (R\$/mês):	R\$	773,00		
Depreciação na Safra (R\$/km):	R\$	0,27		
Taxa de Juros Anual:		12%		
Remuneração do Capital (R\$/ano):	R\$	10.888,40		
Remuneração do Capital (R\$/mês):	R\$	907,20		
Remuneração do Capital na Safra (R\$/km):	R\$	0,31		
IPVA e Outros Impostos:	R\$	2.800,00		
Licença Especial para Treminhão:	R\$	350,00		
Administração e Impostos (R\$/ano):	R\$	6.258,12		
Administração e Impostos (R\$/mês):	R\$	667,34		
Administração e Impostos (R\$/km):	R\$	0,23		
Consumo de Combustível (km/l):	R\$	1,10		
Preço do Óleo Diesel (R\$/l):	R\$	0,29		
Combustível (R\$/km):	R\$	0,26		
Combustível (R\$/mês):	R\$	761,96		
Lubrificantes (R\$/km):	R\$	0,14		
Lubrificantes (R\$/mês):	R\$	406,71		
Custo de Pneus (R\$/km):	R\$	0,23		
Custo de Pneus (R\$/mês):	R\$	668,31		
Tipo de Manutenção (1-boa;2-média;3-ruim):		1		
Estradas (K1):		0,95		
Fator de Carga (K2):		0,84		
Fator de Manutenção (K3):		1,00		
Segmento (K4):		0,88		
Período de Uso (K5):		1,00		
Valor de Referência:	R\$	217.500,00		
Peças de Manutenção (R\$/km):	R\$	0,511		
Mão-de-Obra de Manutenção (R\$/km):	R\$	0,216		
Manutenção (R\$/km):	R\$	0,73		
Manutenção (R\$/mês):	R\$	2.100,81		
Salário Mensal do Motorista:	R\$	600,00		
Encargos Sociais:		85%		
Custo Mensal da Mão-de-Obra:	R\$	2.588,30		
Operador (R\$/km):	R\$	0,89		
Custo Total (R\$/km):	R\$	3,07		
Custo Total (R\$/mês):	R\$	8.871,63		
Custo por Tonelada de Cana Transportada:	R\$	0,93		
Custo de Carregamento e Transporte (R\$/t):	R\$	1,70		

<b>Tipos de Caminhões</b>						
	2213	22160	2219	2220	24250	NL 360
Tipo	1	2	3	4	5	6
Capacidade de Carga do Caminhão (t):	18,00	18,00	18,00	18,00	23,00	23,00
Tara do Caminhão (t):	8,50	9,00	10,00	10,00	12,00	12,00
Capacidade de Carga da Julieta (t):	-	10,00	12,00	12,00	15,00	15,00
Tara da Julieta (t):	-	4,50	5,00	5,00	7,50	7,50
Potência (cv):	130	160	190	190	252	354
Número de Julieta:	0	1	1	1	1	2
Número de Marchas:	5	5	8	8	10	16
Ano de Fabricação:	79	84	84	88	94	94
Tempo de Usina Lento (min):	47,9	55,6	55,6	55,6	55,6	57,4
Tempo de Usina Médio (min):	32	37	37	37	37	40
Tempo de Usina Rápido (min):	16,1	18,4	18,4	18,4	18,4	22,6
Eficiência Operacional (%):	65%	60%	60%	60%	70%	70%
Valor Inicial do Caminhão (R\$):	45.000,00	55.000,00	75.000,00	75.000,00	85.000,00	100.000,00
Valor Inicial da Julieta (R\$):	-	10.000,00	12.000,00	12.000,00	14.800,00	14.800,00
Valor Total da Composição (R\$):	45.000,00	65.000,00	87.000,00	87.000,00	99.800,00	129.600,00
Depreciação do caminhão (R\$/ano):	3.375,00	4.125,00	5.625,00	5.625,00	6.375,00	7.500,00
Depreciação do(s) implemento(s) (R\$/ano):	-	600,00	720,00	720,00	888,00	1.776,00
Número de anos de uso:	15	10	10	6	0	0
Valor da depreciação anual do conjunto (R\$):	0	0	0	6345	7263	9276
Consumo de Combustível (km/l):	1,70	1,60	1,40	1,40	1,25	1,10
Número de Pneus em Implementos:	0	8	8	8	8	16
Pneus utilizados (medidas):	10,00x20	10,00x20	10,00x20	10,00x20	10,00x20	11,00x22
Pneu 10.00x20 liso (R\$/unidade):	R\$ 280,28	R\$ 280,28	R\$ 280,28	R\$ 280,28	R\$ 280,28	R\$ 280,28
Pneu 10.00x20 borrachudo (R\$/unidade):	R\$ 316,93	R\$ 316,93	R\$ 316,93	R\$ 316,93	R\$ 316,93	R\$ 316,93
Pneu 11.00x20 liso (R\$/unidade):	R\$ 378,38	R\$ 378,38	R\$ 378,38	R\$ 378,38	R\$ 378,38	R\$ 378,38
Pneu 11.00x20 borrachudo (R\$/unidade):	R\$ 409,64	R\$ 409,64	R\$ 409,64	R\$ 409,64	R\$ 409,64	R\$ 409,64
ressolagem 10.00x20 (R\$):	R\$ 65,71	R\$ 65,71	R\$ 65,71	R\$ 65,71	R\$ 65,71	R\$ 65,71
ressolagem 11.00x20 (R\$):	R\$ 72,48	R\$ 72,48	R\$ 72,48	R\$ 72,48	R\$ 72,48	R\$ 72,48
Vida útil na tração (Km):	75.000	59.000	59.000	59.000	59.000	59.000
Vida útil na direção (Km):	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Vida útil no implemento (Km):	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
Custo de Pneus - Direção (R\$/km):	R\$ 0,02	R\$ 0,02	R\$ 0,02	R\$ 0,02	R\$ 0,02	R\$ 0,03
Custo de Pneus - Tração (R\$/km):	R\$ 0,05	R\$ 0,06	R\$ 0,06	R\$ 0,06	R\$ 0,06	R\$ 0,08
Custo de Pneus - Implementos (R\$/km):	R\$ -	R\$ 0,05	R\$ 0,05	R\$ 0,05	R\$ 0,05	R\$ 0,11
Custo de Pneus (R\$/km):	R\$ 0,07	R\$ 0,15	R\$ 0,15	R\$ 0,15	R\$ 0,15	R\$ 0,23
Preço da Lavagem (R\$):	R\$ 30,00	R\$ 45,00	R\$ 45,00	R\$ 45,00	R\$ 45,00	R\$ 60,00
Custo Mensal das Lavagens (R\$/mês):	R\$ 15,00	R\$ 22,50	R\$ 22,50	R\$ 22,50	R\$ 22,50	R\$ 30,00
Capacidade de Óleo do Carter (l):	13,00	14,00	19,00	19,00	22,50	30,00
Remonta (%):	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Intervalo de Troca (km):	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Preço do Litro de Óleo 15W40 (R\$/l):	R\$ 3,19	R\$ 3,19	R\$ 3,19	R\$ 3,19	R\$ 3,19	R\$ 3,19
Capacidade de Óleo da Transmissão (l):	13,75	24,00	37,50	37,50	40,00	45,00
Intervalo de Troca (km):	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Preço do Litro de Óleo 100 (R\$/l):	R\$ 3,72	R\$ 3,72	R\$ 3,72	R\$ 3,72	R\$ 3,72	R\$ 3,72
Custo de Lubrificantes (R\$/km):	R\$ 0,085	R\$ 0,092	R\$ 0,108	R\$ 0,108	R\$ 0,121	R\$ 0,141
Valor de Referência em Litros de Diesel:	450.000	570.000	630.000	630.000	630.000	750.000
<b>Tipos de Carregadoras</b>						
	F 6600	CBT 8440	CBT 8060			
Tipo	1	2	3			
Potência (cv):	84	81	110			
Tempo de Ciclo (s):	31,6	33,0	30,6			
Eficiência Operacional(%):	70%	75%	80%			
Valor Inicial do Trator (R\$):	28.550,00	28.450,00	31.000,00			
Valor Inicial do Implemento (R\$):	12.450,00	12.450,00	14.300,00			
Consumo Horário (l/h):	4,71	5,89	8,92			
Ano de Fabricação:	79	90	92			
Capacidade de Carga da Garra (kg):	500	500	1.200			







## **APÊNDICE 2**

Dados utilizados para obter a equação de cálculo da velocidade em estradas asfaltadas.

Núm.	Active km	Decive km	Distância km	Dist.Vert. m	Piso classes	Potência kw	Número Marchas	Peso t	Ano	Núm. de Cargas	Velocidade obtida	Velocidade estimada
1	5,4	1,9	10,4	125	1	117,4	6	10,145	80	1	62,40	50,78
2	5,4	1,9	10,4	125	1	96,8	6	8,770	86	1	36,71	45,03
3	5,4	1,9	10,4	125	1	183,4	12	18,475	94	2	39,00	50,81
4	1,9	5,4	10,4	-125	1	117,4	6	26,400	80	1	56,73	52,92
5	1,9	5,4	10,4	-125	1	96,8	6	26,020	83	1	48,00	52,40
6	1,9	5,4	10,4	-125	1	183,4	12	48,260	94	2	62,40	54,63
7	1,9	5,4	10,4	-125	1	95,4	6	26,595	86	1	48,00	42,90
8	2,6	1,2	5,9	-12	3	117,4	6	10,145	80	1	70,80	71,24
9	2,6	1,2	5,9	-12	3	96,8	6	8,770	86	1	70,80	65,49
10	2,6	1,2	5,9	-12	3	183,4	12	18,475	94	2	70,80	71,27
11	1,2	2,6	5,9	12	3	117,4	6	26,400	80	1	29,50	36,22
12	1,2	2,6	5,9	12	3	96,8	6	26,020	83	1	27,23	35,70
13	1,2	2,6	5,9	12	3	183,4	12	48,260	94	2	39,33	37,93
14	1,2	2,6	5,9	12	3	95,4	6	26,595	86	1	27,23	26,21
15	5,4	1,9	10,4	125	1	261,2	16	28,540	94	3	62,40	60,86
16	5,4	1,9	10,4	125	1	261,2	16	27,855	94	3	52,00	60,09
17	5,4	1,9	10,4	125	1	261,2	16	29,555	94	3	62,40	61,96
18	5,4	1,9	10,4	125	1	261,2	16	28,825	94	3	52,00	61,17
19	5,4	1,9	10,4	125	1	261,2	16	29,350	94	3	62,40	61,74
20	1,9	5,4	10,4	-125	1	261,2	16	81,645	94	3	69,33	68,22
21	1,9	5,4	10,4	-125	1	261,2	16	88,235	94	3	62,40	66,09
22	1,9	5,4	10,4	-125	1	261,2	16	77,185	94	3	62,40	69,04
23	1,9	5,4	10,4	-125	1	261,2	16	86,760	94	3	62,40	66,66
24	1,9	5,4	10,4	-125	1	261,2	16	86,955	94	3	62,40	66,59
25	5,1	5	17,8	-92	3	261,2	16	28,540	94	3	76,29	75,25
26	5,1	5	17,8	-92	3	261,2	16	27,855	94	3	76,29	74,49
27	5,1	5	17,8	-92	3	261,2	16	29,555	94	3	71,20	76,36
28	5,1	5	17,8	-92	3	261,2	16	28,825	94	3	66,75	75,57
29	5,1	5	17,8	-92	3	261,2	16	29,350	94	3	71,20	76,14
30	5	5,1	17,8	92	3	261,2	16	81,645	94	3	48,55	45,64
31	5	5,1	17,8	92	3	261,2	16	88,235	94	3	39,56	43,52
32	5	5,1	17,8	92	3	261,2	16	77,185	94	3	48,55	46,46
33	5	5,1	17,8	92	3	261,2	16	86,760	94	3	42,72	44,09
34	5	5,1	17,8	92	3	261,2	16	86,955	94	3	42,72	44,02
35	5,4	1,9	10,4	125	1	261,2	16	21,520	94	2	62,40	52,50
36	5,4	1,9	10,4	125	1	261,2	16	21,505	94	2	62,40	52,48
37	5,4	1,9	10,4	125	1	261,2	16	21,710	94	2	62,40	52,74
38	1,9	5,4	10,4	-125	1	261,2	16	61,820	94	2	62,40	68,00
39	1,9	5,4	10,4	-125	1	261,2	16	58,715	94	2	62,40	67,07
40	1,9	5,4	10,4	-125	1	261,2	16	56,130	94	2	62,40	66,11
41	6,6	10,6	18,7	-73	3	261,2	16	21,520	94	2	59,05	71,36
42	6,6	10,6	18,7	-73	3	261,2	16	21,505	94	2	74,80	71,34
43	6,6	10,6	18,7	-73	3	261,2	16	21,710	94	2	56,10	71,60
44	10,6	6,6	18,7	73	3	261,2	16	61,820	94	2	56,10	59,69
45	10,6	6,6	18,7	73	3	261,2	16	58,715	94	2	56,10	58,76
46	10,6	6,6	18,7	73	3	261,2	16	56,130	94	2	74,80	57,80
47	5,4	1,9	10,4	125	1	140,8	8	15,290	84	2	41,60	48,11
48	5,4	1,9	10,4	125	1	186,3	12	17,275	92	2	26,00	47,80
49	5,4	1,9	10,4	125	1	140,8	8	17,200	88	2	36,71	40,13
50	5,4	1,9	10,4	125	1	186,3	12	18,460	94	2	34,67	48,60
51	5,4	1,9	10,4	125	1	186,3	12	18,045	92	2	62,40	48,92
52	1,9	5,4	10,4	-125	1	186,3	12	52,185	92	2	78,00	53,47
53	1,9	5,4	10,4	-125	1	140,8	8	50,255	84	2	28,36	34,58
54	1,9	5,4	10,4	-125	1	117,4	8	29,935	83	1	39,00	64,51
55	1,9	5,4	10,4	-125	1	184,9	12	34,200	94	2	41,60	50,17
56	1,9	5,4	10,4	-125	1	186,3	12	56,225	92	1	41,60	52,02
57	6,6	10,6	18,7	-73	3	140,8	8	15,290	84	2	56,10	66,97
58	6,6	10,6	18,7	-73	3	186,3	12	17,275	92	2	80,14	66,66
59	6,6	10,6	18,7	-73	3	140,8	8	17,200	88	2	62,33	58,99
60	6,6	10,6	18,7	-73	3	186,3	12	18,460	94	2	74,80	67,46
61	6,6	10,6	18,7	-73	3	186,3	12	18,045	92	2	70,13	67,78
62	10,6	6,6	18,7	73	3	186,3	12	52,185	92	2	46,75	45,16
63	10,6	6,6	18,7	73	3	140,8	8	50,255	84	2	28,05	26,27
64	10,6	6,6	18,7	73	3	117,4	6	29,935	83	1	28,77	31,60
65	10,6	6,6	18,7	73	3	184,9	12	34,200	94	2	32,06	41,86
66	10,6	6,6	18,7	73	3	186,3	12	56,255	92	1	32,06	43,69

Dados utilizados para obter a equação de cálculo da velocidade em estradas de terra.

Núm.	Active km	Declive km	Distância km	Dist. Vert. m	Núm.de Curvas	Largura m	Piso classes	Potência kw	Peso (t)	Ano	Núm. Cargas
1	1,00	0,90	1,90	-12,00	0,00	8,00	3	117,34	10,145	80,00	1
2	1,00	0,90	1,90	-12,00	0,00	8,00	3	96,80	8,770	86,00	1
3	1,00	0,90	1,90	-12,00	0,00	8,00	3	183,34	18,475	94,00	2
4	0,90	1,00	1,90	12,00	0,00	8,00	3	117,34	26,400	80,00	1
5	0,90	1,00	1,90	12,00	0,00	8,00	3	96,80	26,020	83,00	1
6	0,90	1,00	1,90	12,00	0,00	8,00	3	176,01	48,260	94,00	2
7	0,90	1,00	1,90	12,00	0,00	8,00	3	95,34	26,595	86,00	1
8	0,30	2,20	2,80	-26,00	14,00	4,00	2	117,34	10,145	80,00	1
9	0,30	2,20	2,80	-26,00	14,00	4,00	2	96,80	8,770	86,00	1
10	0,30	2,20	2,80	-26,00	14,00	4,00	2	183,34	18,475	94,00	2
11	2,20	0,30	2,80	26,00	14,00	4,00	2	117,34	26,400	80,00	1
12	2,20	0,30	2,80	26,00	14,00	4,00	2	96,80	26,020	83,00	1
13	2,20	0,30	2,80	26,00	14,00	4,00	2	183,34	48,260	94,00	2
14	2,20	0,30	2,80	26,00	14,00	4,00	2	95,34	26,595	86,00	1
15	1,10	0,70	2,20	25,00	3,00	8,00	3	140,80	17,300	84,00	2
16	1,10	0,70	2,20	25,00	3,00	8,00	3	140,80	17,300	84,00	2
17	1,10	0,70	2,20	25,00	3,00	8,00	3	140,80	17,200	88,00	2
18	1,10	0,70	2,20	25,00	3,00	8,00	3	140,80	17,300	84,00	2
19	1,10	0,70	2,20	25,00	3,00	8,00	3	140,80	17,200	88,00	2
20	0,70	1,10	2,20	-25,00	3,00	8,00	3	140,80	34,645	84,00	2
21	0,70	1,10	2,20	-25,00	3,00	8,00	3	140,80	33,795	84,00	2
22	0,70	1,10	2,20	-25,00	3,00	8,00	3	140,80	34,080	88,00	2
23	0,70	1,10	2,20	-25,00	3,00	8,00	3	140,80	34,430	84,00	2
24	0,70	1,10	2,20	-25,00	3,00	8,00	3	140,80	35,480	88,00	2
25	3,20	0,80	8,30	128,00	0,00	8,00	2	261,08	28,825	94,00	3
26	3,20	0,80	8,30	128,00	0,00	8,00	2	140,80	15,200	87,00	2
27	3,20	0,80	8,30	128,00	0,00	8,00	2	95,34	9,800	84,00	1
28	3,20	0,80	8,30	128,00	0,00	8,00	2	95,34	9,350	86,00	1
29	0,80	3,20	8,30	-128,00	0,00	8,00	2	95,34	31,910	86,00	1
30	0,80	3,20	8,30	-128,00	0,00	8,00	2	140,80	54,485	84,00	2
31	0,80	3,20	8,30	-128,00	0,00	8,00	2	259,61	38,110	94,00	1
32	0,80	3,20	8,30	-128,00	0,00	8,00	2	140,80	32,430	85,00	1
33	3,20	0,80	8,30	128,00	0,00	8,00	2	140,80	9,870	85,00	1
34	3,20	0,80	8,30	128,00	0,00	8,00	2	261,08	28,825	94,00	3
35	0,80	3,20	8,30	-128,00	0,00	8,00	2	140,80	31,315	81,00	1
36	0,80	3,20	8,30	-128,00	0,00	8,00	2	140,80	51,295	87,00	2
37	0,80	3,20	8,30	-128,00	0,00	8,00	2	95,34	28,520	80,00	1
38	0,80	3,20	8,30	-128,00	0,00	8,00	2	101,20	32,700	84,00	1

Dados utilizados para obter a equação de cálculo da velocidade em estradas de terra -  
continuação..

Núm.	Rampa m/km	Núm. de marchas	Velocidade observada	Velocidade Estimada
1	-6,32	6	22,80	35,51
2	-6,32	5	38,00	33,92
3	-6,32	10	28,50	38,58
4	6,32	6	14,25	23,36
5	6,32	5	14,25	21,38
6	6,32	10	19,00	18,52
7	6,32	5	16,29	20,65
8	-9,29	6	56,00	39,79
9	-9,29	5	24,00	38,21
10	-9,29	10	33,60	42,87
11	9,29	6	42,00	20,04
12	9,29	5	18,67	18,06
13	9,29	10	11,20	17,66
14	9,29	5	18,67	17,33
15	11,36	8	18,86	25,10
16	11,36	8	22,00	25,10
17	11,36	8	26,40	25,14
18	11,36	8	26,40	25,10
19	11,36	8	33,00	25,14
20	-11,36	8	26,40	29,79
21	-11,36	8	33,00	30,14
22	-11,36	8	26,40	30,02
23	-11,36	8	26,40	29,88
24	-11,36	8	33,00	29,46
25	15,42	16	45,27	17,74
26	15,42	8	49,80	31,14
27	15,42	5	49,80	29,02
28	15,42	5	45,27	29,20
29	-15,42	5	33,20	35,08
30	-15,42	8	29,29	30,27
31	-15,42	16	35,57	35,43
32	-15,42	8	29,29	35,87
33	15,42	8	49,80	30,00
34	15,42	16	33,20	17,74
35	-15,42	8	35,57	36,32
36	-15,42	8	33,20	31,56
37	-15,42	5	33,20	36,44
38	-15,42	5	27,67	36,73

Dados utilizados para obter a equação de cálculo da capacidade operacional de carregamento.

Núm.	Peso kg	T. Total min	C.O. Observ. t/h	Declive %	C.Campo m	Produtiv. t/ha	Núm. Corte	Cap.Garra kg	Potência cv	Potência kw	Ano Fabric.
1	16.060	22,3	43,211	10,0	340	77	9	1.200	110	80,7	92
2	15.855	20,6	46,18	24,4	185	70	4	500	81	59,4	90
3	17.170	23,82	43,249	10,0	340	77	9	1.200	110	80,7	92
4	12.620	13,9	54,475	12,5	310	120	2	1.200	110	80,7	92
5	18.240	23,15	47,274	24,4	185	70	4	500	81	59,4	90
6	16.935	18,47	55,014	24,4	185	70	4	500	81	59,4	90
7	17.510	20,02	52,478	24,4	185	70	4	500	81	59,4	90
8	18.835	19,55	57,806	18,0	115	77	9	1.200	110	80,7	92
9	19.925	17,6	67,926	12,5	310	120	2	1.200	110	80,7	92
10	19.355	17,38	66,818	10,0	610	70	3	1.200	110	80,7	92
11	15.855	14,28	66,618	10,0	610	70	3	1.200	110	80,7	92
12	17.005	11,1	91,919	12,5	310	120	2	1.200	110	80,7	92
13	12.750	9,7	78,866	11,0	350	110	2	1.200	110	80,7	92
14	17.860	15,93	67,269	10,0	610	80	3	1.200	110	80,7	92
15	17.790	12,75	83,718	12,5	310	120	2	1.200	110	80,7	92
16	16.860	12,45	81,253	12,5	310	120	2	1.200	110	80,7	92
17	18.385	16,12	68,431	10,0	340	77	9	1.200	110	80,7	92
18	20.005	14,52	82,665	18,0	115	77	9	1.200	110	80,7	92
19	18.885	13,87	81,694	9,0	110	80	3	1.200	110	80,7	92
20	18.215	12,83	85,183	11,0	350	110	2	1.200	110	80,7	92
21	15.560	9,78	95,46	12,5	310	120	2	1.200	110	80,7	92
22	17.230	11,18	92,469	3,0	700	70	3	1.200	110	80,7	92
23	17.385	12,45	83,783	3,0	700	70	3	1.200	110	80,7	92
24	16.935	8,18	124,218	3,0	700	70	3	1.200	110	80,7	92
25	22.130	12,75	104,141	4,0	167	85	2	1.200	110	80,7	92
26	20.250	11,62	104,561	4,0	167	85	2	1.200	110	80,7	92
27	21.955	12,83	102,673	4,0	167	85	2	1.200	110	80,7	92
28	19.955	14,95	80,087	6,0	400	125	1	1.200	110	80,7	92
29	21.610	14,78	87,727	6,0	400	125	1	1.200	110	80,7	92
30	19.810	14,77	80,474	6,0	400	125	1	1.200	110	80,7	92
31	20.130	15,38	78,531	6,0	400	125	1	1.200	110	80,7	92
32	19.975	16,1	74,441	6,0	400	125	1	1.200	110	80,7	92
33	19.030	20,05	56,948	8,0	333	77	5	1.200	110	80,7	92
34	20.520	25,4	48,472	8,0	333	77	5	1.200	110	80,7	92
35	18.300	17,83	61,582	8,0	333	77	5	1.200	110	80,7	92
36	21.015	27,43	45,968	8,0	235	60	4	500	84	61,6	79
37	22.775	40,03	34,137	8,0	235	60	4	500	84	61,6	79
38	22.505	30,93	43,657	8,0	235	60	4	500	84	61,6	79
39	18.460	41,17	26,903	8,0	235	60	4	500	84	61,6	79
40	16.625	31,75	31,417	8,0	235	60	4	500	84	61,6	79
41	21.240	52,2	24,414	8,0	235	60	4	500	84	61,6	79
42	20.615	30,52	40,528	8,0	235	60	4	500	84	61,6	79
43	21.035	33,48	37,697	8,0	235	60	4	500	84	61,6	79
44	18.340	12	91,7	3,0	150	75	2	1.200	110	80,7	92
45	19.485	13,43	87,051	3,0	150	75	2	1.200	110	80,7	92
46	21.700	10,62	122,599	3,0	150	75	2	1.200	110	80,7	92
47	18.970	14,83	76,75	7,0	370	75	2	1.200	110	80,7	92
48	19.840	23,6	50,441	24,4	185	70	4	1.200	110	80,7	92
49	18.215	21,62	50,55	11,0	350	110	2	1.200	110	80,7	92
50	18.455	20,65	53,622	11,0	350	110	2	500	81	59,4	90
51	17.640	17,05	62,076	18,0	115	77	9	1.200	110	80,7	92
52	18.680	9,63	116,386	3,0	700	70	3	1.200	110	80,7	92
53	20.660	10,62	116,723	4,0	167	85	2	1.200	110	80,7	92

Dados utilizados para obter a equação de cálculo da capacidade operacional de carregamento - continuação.

Núm.	Inv. Decliv.	T.Ciclo s	C.O. Estim. t/h
1	0,100	30,6	42,203
2	0,041	31,6	39,956
3	0,100	30,6	42,203
4	0,080	30,6	68,294
5	0,041	31,6	39,956
6	0,041	31,6	39,956
7	0,041	31,6	39,956
8	0,056	30,6	57,38
9	0,080	30,6	68,294
10	0,100	30,6	58,23
11	0,100	30,6	58,23
12	0,080	30,6	68,294
13	0,091	30,6	64,835
14	0,100	30,6	61,19
15	0,080	30,6	68,294
16	0,080	30,6	68,294
17	0,100	30,6	42,203
18	0,056	30,6	57,38
19	0,111	30,6	77,608
20	0,091	30,6	64,835
21	0,080	30,6	68,294
22	0,333	30,6	94,339
23	0,333	30,6	94,339
24	0,333	30,6	94,339
25	0,250	30,6	89,668
26	0,250	30,6	89,668
27	0,250	30,6	89,668
28	0,167	30,6	78,852
29	0,167	30,6	78,852
30	0,167	30,6	78,852
31	0,167	30,6	78,852
32	0,167	30,6	78,852
33	0,125	30,6	53,525
34	0,125	30,6	53,525
35	0,125	30,6	53,525
36	0,125	33	30,703
37	0,125	33	30,703
38	0,125	33	30,703
39	0,125	33	30,703
40	0,125	33	30,703
41	0,125	33	30,703
42	0,125	33	30,703
43	0,125	33	30,703
44	0,333	30,6	98,354
45	0,333	30,6	98,354
46	0,333	30,6	98,354
47	0,143	30,6	59,844
48	0,041	30,6	55,069
49	0,091	30,6	64,835
50	0,091	31,6	49,723
51	0,056	30,6	57,38
52	0,333	30,6	94,339
53	0,250	30,6	89,668