

MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE TRANSPORTES RODOVIÁRIO FLORESTAL COM O USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO

Pedro Giovanni Lacowicz¹

Ricardo Berger²

Romano Timofeiczuk Júnior³

João Carlos Garzel Leodoro da Silva⁴

RESUMO

Este trabalho tratou da minimização dos custos do transporte rodoviário florestal, através da programação linear inteira e otimização dos tempos de ciclo de transporte. Após a obtenção dos dados de uma empresa florestal, foram elaborados três cenários, quais sejam: *Cenário I*: levantamento do quadro atual da empresa, como subsídio comparativo após a racionalização e otimização das etapas que mais consomem tempo do ciclo; *Cenário II*: realizada em função do uso da programação linear, juntamente com a racionalização dos tempos de fila de espera para carga e descarga; *Cenário III*: além da programação linear e racionalização dos tempos de espera em fila, utilizou-se, paralelamente, uma otimização do tempo de carga e uma elevação da velocidade de transporte. Os resultados mostraram-se significativos, onde a racionalização e a otimização contribuíram para a redução no número de caminhões e do custo total, traduzindo-se em aumentos na produção dos veículos, na receita bruta e líquida dos freteiros.

Palavra-chave: programação linear inteira, transporte rodoviário florestal, custo de transporte

COST MINIMIZATION OF FOREST ROAD TRANSPORT BY USING THE INTEGER LINEAR PROGRAM AND TRANSPORT CYCLE TIME OPTIMIZATION

ABSTRACT

This study was about the decrease of the costs of forest road transport, using the integer linear program and transport cycle time optimization. After obtaining all of the costs, consumed time and the current company picture, a total of three evaluations were done and are described below in settings. *Setting I*: The current company picture data was calculated as a comparative subsidy following the rationalization and optimization stages that are more time-consuming in the transport cycle. *Setting II*: This evaluation was done in terms of linear program use, together with the loading and unloading waiting in line time rationalization. *Setting III*: In this evaluation, besides the linear program use and waiting in line time rationalization, it was simultaneously used a time optimization and a foster transport speed. The acquired results were very meaningful, while the rationalization and optimization happened, the trucks rate and total cost successively decreased, resulting in better vehicles performance, and consequently, an increase in the gross and net drivers' income. Even though there was a costs decrease and an outsiders' income increase, which was not enough to pay their total costs, that is, only the variable ones were totally paid and part of the outsiders' fixed cost.

Keywords: Integer linear programming, log transportation, cost of transportation

¹ Aluno orientado do Curso de Engenharia Florestal da UFPR. Email: giovani@floresta.ufpr.br

² Professor Orientador do Depto de Economia Rural da UFPR. Email: berger@floresta.ufpr.br

³ Professor Co-orientador do Depto de Economia Rural da UFPR. Email: romano@cce.ufpr.br

⁴ Professor Co-orientador do Depto de Economia Rural da UFPR. Email: garzel@floresta.ufpr.br

Recebido para publicação: 07/2001

Aceito para publicação: 02/2002

INTRODUÇÃO

A importância que o caminhão adquiriu como meio de transporte, tornou-se um dos fenômenos de maior significado em nossos dias. Essa importância decorre não somente do elevado volume de cargas movimentadas entre as empresas produtoras, intermediárias e consumidoras, mas também pelo fato de ser fundamental na interligação entre pontos de origens e destinos. A imensa vantagem do caminhão em relação aos demais meios de transportes é a possibilidade do deslocamento de mercadorias “pátio a pátio”. Adicionando-se a isso o seu menor preço inicial, a sua flexibilidade e a possibilidade de escolha de rotas e diferentes capacidades de cargas oferecidas, pode-se compreender a razão de sua ascensão à posição atual (Machado, 1989).

O transporte rodoviário florestal chega a representar de 30 a 50% do custo total da madeira posta na unidade consumidora, tornando-se um problema complexo para as empresas do setor (Berger e Duarte, 1988). Partindo-se do pressuposto que o transporte rodoviário é uma das operações que mais geram custos numa empresa florestal, ele deve ser bem planejado, por meio da utilização de técnicas científicas (racionalização das atividades que compõem o ciclo de transporte), visando a sua otimização (programação linear) e conseguindo-se assim uma redução de custos, através da diminuição da frota (diminuição dos custos fixos) e alocação de veículos (redução do custo variável).

OBJETIVO

Este trabalho tem, como objetivo geral, minimizar os custos de transporte de uma empresa com o uso da programação linear inteira e otimização dos tempos das fases do ciclo de transporte.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da empresa em estudo e tipo de material a ser transportado

A coleta de dados para a realização deste trabalho foi realizada em uma empresa florestal situada na região do Planalto Norte Catarinense. A indústria processa madeira de 2,10 metros e 2,65 metros de comprimento, embora o transporte de madeira seja realizado com comprimentos maiores e variáveis. A empresa produz um total de cinco medidas de toras, e todas essas, com exceção da de 2,10 metros, são múltiplos de 2,65 metros. As metragens de toras produzidas são: 2,10 / 2,65 / 5,30 / 7,95 e 10,60 metros. As toras com metragem superior a 2,65 são processadas no pátio da indústria.

Durante os dois primeiros meses do ano, foram transportadas 78.107 toneladas de madeira de diferentes comprimentos. O quadro 01 mostra maiores detalhes sobre os diferentes tipos de comprimentos transportados durante os meses de janeiro e fevereiro, e suas respectivas quantidades.

Quadro 1: Quantidade e comprimento da madeira transportada por fazenda em toneladas

Abreviação	Fazendas	2,10 m	2,65 m	5,30 m	7,95 m	10,60 m	Toneladas
C 01	I e II	733,0	-	998,0	2593,0	5292,0	9616,0
C 02	III, IV e V	3178,0	1786,0	-	-	-	4964,0
C 03	VI, VII e VIII	1432,0	743,0	1863,0	3238,0	-	7276,0
C 04	IX	2649,0	1457,0	3164,0	1326,0	1910,0	10506,0
C 05	X	26,0	178,0	724,0	-	-	928,0
C 06	XI	813,0	107,0	1160,0	-	-	2080,0
C 07	XII	318,0	-	785,0	353,0	3457,0	4913,0
C 08	XIII	-	-	2010,0	1626,0	7980,0	11616,0
C 09	XVI	1608,0	1032,0	144,0	-	-	2784,0
C 10	XV	3242,0	1205,0	611,0	5679,0	9743,0	20480,0
C 11	XVI e XVII	-	-	2944,0	-	-	2944,0
Total Absoluto		13999,0	6508,0	14403,0	14815,0	28382,0	78107,0
Total Relativo		17,92%	8,33%	18,44%	18,97%	36,34%	100,00%

Tipos de caminhões e forma da carroceria dos veículos

A empresa opera com um total de 35 caminhões florestais. Os tipos de caminhões e suas formas de carrocerias são variados e estão ilustrados na Figura 1.

O veículo do tipo 1 é um caminhão 6x4, com um equipamento ou carroceria do tipo alongável. Esse tipo de equipamento permite o transporte de 2 (duas) metragens de madeira: 7,95 e 10,60 metros. Para o veículo do tipo 2, o caminhão pode ser 4x2 ou 6x4

com um semi – reboque de 03 eixos, o qual permite o transporte de todas as metragens de madeira produzidas pela empresa. O tipo 3 é um caminhão 6x4, com um reboque com 02 ou 3 eixos, que transporta madeira com até 7,95 metros. O caminhão do tipo 4, pode ser 6x2 ou 6x4 que, assim como o caminhão do tipo 3, carrega madeira com o comprimento máximo de 7,95 metros. Já para o último, ou tipo 5, o caminhão pode ser 6x2 ou 6x4 como é o caso do tipo 4, e transporta madeira com até 2,65 metros.





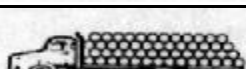
<i>Tipo</i>	<i>Ilustração</i>	<i>Descrição</i>	<i>Quantidade</i>
1		<i>Cavalo Mecânico 6x4 Semi - Reboque Alongável Denominação: Reboque</i>	8
2		<i>Cavalo Mecânico 6x2 ou 6x4 Semi - Reboque Denominação: Carreta</i>	11
3		<i>Cavalo Mecânico 6x4 Reboque de 2 ou 3 eixos Denominação: Romeu - Julieta</i>	6
4		<i>Cavalo Mecânico 6x4 Denominação: Truck - Traçado</i>	8
5		<i>Cavalo Mecânico 6x2 Denominação: Truck - Simples</i>	2

Figura 1: Tipos de caminhões e formas de carrocerias

Relação das fazendas, distâncias de transporte e necessidade de madeira da indústria

No período de coleta de dados, o transporte estava sendo realizado em 17 fazendas, as quais foram agrupadas em 11,

conforme demonstrado no Quadro 2. Adotou-se este procedimento em razão de algumas fazendas apresentarem distâncias equivalentes entre si.

<i>Abreviação</i>	<i>Fazendas</i>	<i>Chão (Km)</i>	<i>Asfalto (Km)</i>	<i>Total (Km)</i>
C 01	I e II	18,0	6,0	24,0
C 02	III, IV e V	3,3	0,0	3,3
C 03	VI, VII e VIII	19,0	0,0	19,0
C 04	IX	46,4	2,5	48,9
C 05	X	43,0	101,0	144,0
C 06	XI	7,0	58,0	65,0
C 07	XII	56,1	2,5	58,6
C 08	XIII	40,1	75,7	115,8
C 09	XVI	3,0	15,7	18,7
C 10	XV	8,2	48,6	56,8
C 11	XVI e XVII	0,0	300,0	300,0

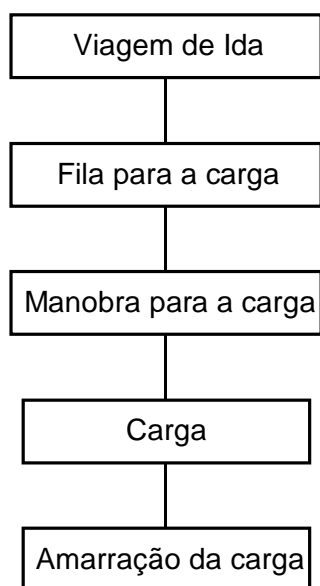
Quadro 2: Distância média das fazendas até a indústria

Estudo de tempo

Identificação das fases do ciclo de transporte:

O ciclo de transporte está dividido em fase de ida (caminhão vazio) e fase de volta (caminhão carregado), com as duas

Fase de Ida (vazio)



fases subdivididas em 17 etapas de transporte, como mostrado na Figura 2.

Fase de Volta (carregado)

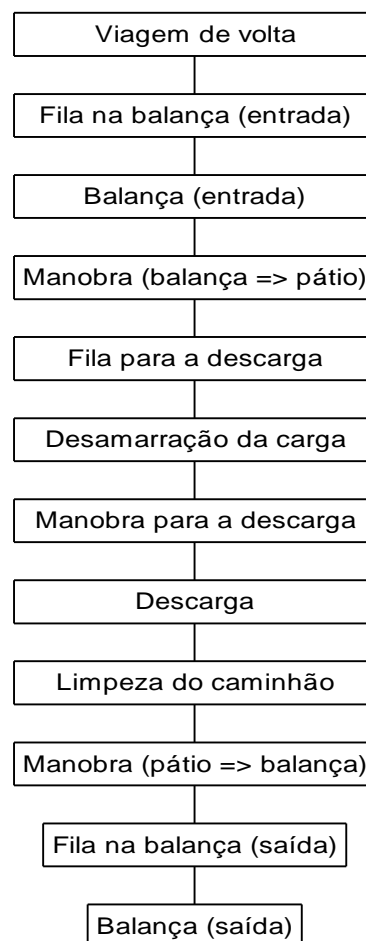


Figura 2: Fluxogramas demonstrativos

Amostragem

Para a coleta dos dados das etapas ou fases do ciclo de transporte dos caminhões florestais rodoviários, adotou-se o processo de amostragem inteiramente aleatória. O número de caminhões a serem amostrados no decorrer da coleta de dados foi estimado através da fórmula expressa abaixo:

$$n = \frac{(S^2 \cdot t^2)}{E^2}$$

Onde:

n: número de caminhões a serem amostrados;

S²: Variância entre os tempos de ciclo de transporte por fazenda;

t: Valor de “t” para determinada probabilidade;

E: Espectrância do erro.

O Quadro 3 mostra o número mínimo de veículos a serem amostrados e a quantidade de amostras que foram realizadas.

Quadro 3: Número de amostras (viagens por fazenda)

Abreviação	Fazendas	n (mínimo)	n (amostrados)
C 01	I e II	6	6
C 02	III, IV e V	5	8
C 03	VI, VII e VIII	5	6
C 04	IX	6	6
C 05	X	3	3
C 06	XI	4	4
C 07	XII	5	6
C 08	XIII	3	3
C 09	XVI	4	5
C 10	XV	4	4
C 11	XVI e XVII	3	3
Total		48	54

Observa-se no quadro acima que em algumas fazendas houve um número de amostragem superior ao número de amostras mínimas, o que representa um grau de precisão mais elevado do que o requerido. O número de caminhões amostrados totaliza 54 e, com este número se obteve uma precisão maior do que o desejado, ou seja, uma precisão superior a 80%.

Determinação dos custos

Custo Fixo Total (CFT)

São todos os custos que não variam diretamente com a produção, ou seja, se mantêm constantes, independentes do uso dos veículos florestais. Para efeito de mensuração, os custos fixos do transporte são:

- Salário de horas normal;
- Encargos Sociais;
- Custo de Oportunidade;
- Depreciação;
- Custo administrativo;
- Seguro total;
- Impostos fixos (Licenciamento, seguro obrigatório e Imposto de Propriedade de Veículo Automotor - IPVA).

Custo Variável Total (CVT)

São todos os custos que variam diretamente com a produção, ou seja, não se mantêm constantes e dependem do uso dos veículos florestais. Os custos variáveis do transporte são:

- Salário de horas extras;
- Comissão;

- Lavagem e engraxamento;
- Manutenção;
- Pneu;
- Lubrificação;
- Filtros;
- Combustível;
- Impostos.

Especificação do modelo matemático

O modelo matemático utilizado é do tipo I (única variável de decisão), na qual visa minimizar o custo total do transporte necessário para abastecer uma única unidade industrial (único destino), a partir de 17 fazendas (várias origens). Este método de programação linear inteira leva em consideração algumas restrições, tais como: necessidade diária da indústria, capacidade de carga dos caminhões, disponibilidade de madeira das fazendas e outras que serão relatadas abaixo e no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

Função Objetivo

O modelo matemático elaborado como função objetivo tem como finalidade minimizar o custo total diário da frota, obtido de cada caminhão 1,2,...,i na fazenda 1,2,...,j. A função matemática leva em consideração os custos fixos (Cf) e custos variáveis (Cv) dos 35 caminhões. Os custos fixos na função objetivo estão expressos em reais por dia, e o custo variável em reais por fazenda.

Modelo utilizado:

$$\text{Min}z = \sum_{i=1}^{35} \sum_{j=1}^{17} (C_v \cdot X_{ij}) + \sum_{i=1}^{35} (C_f \cdot Y_i)$$

Onde:

X_{ij} : Número de viagens do caminhão i na fazenda J (diário);

Y_i : Variável binária 0 ou 1 (“0” se o caminhão for eliminado e “1” se o caminhão continuar no transporte da empresa);

C_v : Coeficiente de custo variável por viagem de cada caminhão i na fazenda j ;

C_f : Coeficiente de custo fixo diário do caminhão i .

Restrições

- Quanto à capacidade de carga dos caminhões e necessidade da indústria;

Cada tipo de veículo possui uma capacidade máxima de carga expressa em toneladas. O somatório da capacidade de cargas dos veículos de transporte, multiplicado pela quantidade de viagens diárias realizadas nas diferentes fazendas, deve ser maior ou igual à necessidade diária da indústria.

$$a_{1,1} \cdot X_{1,1} + a_{2,1} \cdot X_{2,1} + a_{3,1} \cdot X_{3,1} + a_{4,1} \cdot X_{4,1} + \dots + a_{1,j} \cdot X_{1,j} \geq NI$$

Onde:

$a_{1,1}, a_{2,1}, a_{3,1}, \dots, a_{i,j}$ = Capacidade de carga em toneladas por caminhão por fazenda;

$X_{1,1}, X_{2,1}, X_{3,1}, \dots, X_{i,j}$ = Número de viagens do caminhão 1, 2, ..., i na fazenda 1, 2, ..., j ;

NI = Necessidade diária da indústria.

- Quanto ao tempo de ciclo de transporte

O tempo de ciclo médio de transporte para cada caminhão i nas diferentes fazendas j , multiplicado pelo número de viagens para a respectiva fazenda, não deve ultrapassar a carga horária média de trabalho dos motoristas dos caminhões. Para isto, foi assumido que a carga horária máxima dos motoristas não deve ultrapassar a carga horária diária de 16 horas (2 motoristas, com 1 turno de 8 horas cada um).

$$b_{1,1} \cdot X_{1,1} + b_{1,2} \cdot X_{1,2} + b_{1,3} \cdot X_{1,3} + b_{1,4} \cdot X_{1,4} + \dots + b_{1,j} \cdot X_{1,j} \leq CHm_i$$

Onde:

$b_{1,1}, b_{1,2}, b_{1,3}, \dots, b_{1,j}$ = Coeficiente de tempo de ciclo do caminhão 1 na fazenda 1, 2, ..., j ;

$X_{1,1}, X_{1,2}, X_{1,3}, \dots, X_{1,j}$ = Número de viagens do caminhão 1 na fazenda 1, 2, ..., j ;

CHm_i = Carga horária diária dos motoristas do caminhão i

- Quanto ao tempo de carga dos caminhões

Levou-se em consideração o tempo de carga dos diferentes tipos de caminhões, ou seja, o somatório dos tempos de carga dos diferentes veículos i , realizados na fazenda j , que não deve ultrapassar a carga horária média diária de trabalho do operador do carregador na fazenda j . A carga horária média diária dos operadores é de 16 horas (2 operadores, com 1 turno de 8 horas cada um).

$$c_{1,1} \cdot X_{1,1} + c_{2,1} \cdot X_{2,1} + c_{3,1} \cdot X_{3,1} + c_{4,1} \cdot X_{4,1} + \dots + c_{i,j} \cdot X_{i,j} \leq CHc_{j,1}$$

Onde:

$c_{1,1}, c_{2,1}, c_{3,1}, \dots, c_{i,j}$ = Coeficiente de tempo de carga do caminhão 1, 2, ..., i , na fazenda j ;

$X_{1,1}, X_{2,1}, X_{3,1}, \dots, X_{i,j}$ = Número de viagens do caminhão 1, 2, ..., i na fazenda j ;

CHc_j = Carga horária diária do operador da fazenda J .

- Quanto à disponibilidade de madeira da fazenda

Cada fazenda possui uma disponibilidade máxima diária de madeira, que varia de fazenda para fazenda. O somatório de todas as cargas dos diferentes tipos de caminhões i , na fazenda j , não deve ultrapassar a disponibilidade máxima diária de madeira da fazenda j .

$$a_{1,1} \cdot X_{1,1} + a_{2,1} \cdot X_{2,1} + a_{3,1} \cdot X_{3,1} + a_{4,1} \cdot X_{4,1} + \dots + a_{i,j} \cdot X_{i,j} \leq Dmf_j$$

Onde:

$a_{1,1}, a_{2,1}, a_{3,1}, \dots, a_{i,j}$ = Coeficiente de carga em toneladas do caminhão i na fazenda j ;

$X_{1,1}, X_{2,1}, X_{3,1}, \dots, X_{i,j}$ = Número de viagens do caminhão 1, 2, ..., i na fazenda j ;

Dmf_j = Disponibilidade de madeira na fazenda j .

- Quanto ao Comprimento da madeira a ser transportada

Cada caminhão, que opera na empresa, possui equipamento que pode ou não transportar todas as medidas ou comprimentos

de toras disponibilizadas pelas fazendas. Como cada fazenda disponibiliza certa quantidade de medidas de madeira, e alguns caminhões estão restritos ao transporte desse determinado comprimento de madeira devido ao tipo de equipamento que possui, a somatória das cargas dos caminhões, que não estão restritos ao transporte desse comprimento de madeira, deve ser igual ou inferior ao total do comprimento de madeira disponibilizada pela fazenda, cujo comprimento não seja restrito a este caminhão.

$$a_{1,1} \cdot X_{1,1} + a_{2,1} \cdot X_{2,1} + a_{3,1} \cdot X_{3,1} + a_{4,1} \cdot X_{4,1} + \dots + a_{i,j} \cdot X_{i,j} \leq Dmf_{j/c}$$

Onde:

$a_{1,1}, a_{2,1}, a_{3,1}, \dots, a_{i,j}$ = Coeficiente de carga em toneladas do caminhão i por fazenda j/c ;

$X_{1,1}, X_{2,1}, X_{3,1}, \dots, X_{i,j}$ = Número de viagens do caminhão 1, 2, ..., i na fazenda j/c ;

$Dmf_{j/c}$ = Disponibilidade de comprimento de madeira na fazenda j/c .

- Quanto à carga horária mínima de trabalho (utilização da variável binária Y_i)

O estabelecimento de uma carga horária mensal mínima tem por objetivo eliminar os caminhões que estão em excesso no processo produtivo da empresa, através do aumento da carga horária média diária dos caminhões que deverão permanecer no transporte da empresa. Para isto, foram utilizados os tempos de ciclo de transporte de cada veículo e, estes coeficientes de tempo de ciclo de transporte, multiplicado pelo número de viagens realizadas por um determinado caminhão, numa determinada fazenda, não deve ser inferior a 280 horas mensais, o que equivale a uma carga horária mínima diária de 14 horas.

$$(b_{1,1} \cdot X_{1,1} + b_{1,2} \cdot X_{1,2} + b_{1,3} \cdot X_{1,3} + b_{1,4} \cdot X_{1,4} + \dots + b_{1,j} \cdot X_{1,j}) - (Cm_i \cdot Y_i) \geq Zero$$

Onde:

$b_{1,1}, b_{1,2}, b_{1,3}, \dots, b_{1,j}$ = Coeficiente de tempo de ciclo do caminhão 1 na fazenda 1, 2, ..., j ;

$X_{1,1}, X_{1,2}, X_{1,3}, \dots, X_{1,j}$ = Número de viagens do caminhão 1 na fazenda 1, 2, ..., j ;

Cm_i = Carga horária mensal mínima do caminhão i ;

Y_i = Variável binária “0” ou “1”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação do processo operacional

A avaliação do processo operacional será efetuada em função das etapas de tempo de ciclo de transporte, identificadas durante o período de coleta de dados. Foram identificadas, no decorrer do trabalho, 17 etapas que compõem o ciclo de transporte. Destas, 5 compõem a fase de ida (vazio) e 12 etapas compõem a fase de volta (carregado).

O Quadro 4 representa o ciclo médio de transporte das 17 fazendas trabalhadas nos meses de janeiro e fevereiro de 2000. Estes tempos representam o tempo médio ponderado dos caminhões que transportaram madeira durante o período analisado. Portanto, o tempo total de ciclo envolve um total de 17 etapas, das quais seis são responsáveis por 90,29% do tempo total consumido por viagem, e que serão levadas em consideração na análise. Tais etapas do ciclo são:

- Tempo de viagem de ida (vazio);
- Tempo de viagem de volta (carregado);
- Tempo de carga;
- Tempo de descarga;
- Tempo de espera para a carga;- Tempo de espera para a descarga.

Quadro 4: Tempo médio de ciclo de transporte

<i>Etapas</i>	<i>%</i>
<i>Viagem de Ida</i>	<i>25,66</i>
<i>Viagem de Volta</i>	<i>34,09</i>
<i>Carga</i>	<i>14,69</i>
<i>Descarga</i>	<i>4,42</i>
<i>Fila para a carga</i>	<i>8,81</i>
<i>Fila para a descarga</i>	<i>2,61</i>
<i>Outros</i>	<i>9,71</i>
<i>Total</i>	<i>100,00</i>

As outras etapas não serão analisadas por não serem significativas para o estudo em questão. O somatório das outras 11 etapas totaliza 9,71% do tempo total de ciclo, e uma otimização destas traria apenas ganhos marginais.

Avaliação comparativa por cenários

O resultados serão apresentados por meio comparativo de três cenários, ou seja, cenário I, II e III. O cenário I mostra a situação atual da frota na empresa de estudo. O cenário II mostra os resultados obtidos através do uso da programação linear, juntamente com a redução dos tempos de fila para carga e descarga. Esta situação (cenário II) se caracteriza por utilizar apenas o planejamento, sem a inserção de elevados índices de investimento. Já o Cenário III, leva, além programação linear e a redução dos tempos de fila, um aumento na velocidade de transporte através da melhoria na manutenção das estradas e uma otimização dos tempos de carga através da troca dos carregadores menos produtivos, por carregadores mais produtivos. Esta situação (cenário III) se caracteriza por utilizar um elevado índice de investimento, pela substituição dos carregadores e pela melhoria das estradas.

Avaliação gráfica comparativa dos cenários

Esta avaliação tem por finalidade mostrar os resultados obtidos nos diferentes cenários por meio de gráficos. A primeira avaliação é em relação à quantidade de veículos que permaneceram no processo de transporte ao longo da otimização das etapas de ciclo de transporte (Gráfico 01). Observa-se que a frota que atuava na empresa era

composta por 35 veículos (cenário I), passando para 23 no cenário II. Houve, neste caso, uma redução de 12 veículos, utilizando-se o planejamento das etapas de ciclo de transporte. A redução do cenário II para o cenário III não é tão expressiva como ocorreu utilizando-se o planejamento das etapas de ciclo (cenário I). Na otimização do cenário II para o cenário III, além do planejamento, a empresa deve investir em melhoria de estradas e na aquisição de novas máquinas para a elaboração do carregamento dos caminhões florestais.

Já o Gráfico 02 ilustra a redução dos caminhões em função do tamanho do veículo (grande ou pequeno), à medida que ocorrem os cenários de otimização. No cenário I, a frota era composta por 25 caminhões grandes e 10 caminhões pequenos. Quando foi utilizado o emprego do planejamento das etapas de ciclo de transporte (cenário II), o número de veículos reduziu para 20 caminhões grandes e 3 caminhões pequenos.

Com o emprego do investimento (cenário III), o número de veículos foi reduzido para 19 caminhões grandes, sendo eliminados os caminhões pequenos. Desta forma, o número de caminhões diminui à medida que o processo vai se tornando eficiente, sendo que o número de caminhões pequenos reduz mais do que proporcional ao número de caminhões grandes.

Como já descrito anteriormente, a quantidade transportada, durante o período de coleta de dados, foi de 78.107 toneladas para satisfazer a demanda de matéria prima da indústria. Como a quantidade transportada durante o período é fixa e o número de caminhões reduziu diante dos cenários de otimização, a quantidade de madeira

transportada por caminhão aumentou, conforme demonstrado no Gráfico 03.

Inicialmente a quantidade média transportada por veículo era de 2.231,63 toneladas e após o uso do planejamento (cenário II) passou para 3.395,96 toneladas por veículo. Com a inserção de investimento (cenário III), esta quantidade média transportada por veículo subiu para 4.110,89 toneladas.

Com o aumento da quantidade de madeira transportada, conseqüentemente, ocorre um aumento da receita bruta. Como a receita bruta média é obtida pela multiplicação da quantidade média transportada por veículo pelo preço médio pago por fazenda, a relação entre quantidade média transportada e receita bruta obtida é uma relação diretamente proporcional (Gráfico 04).

No cenário I, a renda bruta média é de R\$ 11.583,10 por veículo no período compreendido entre janeiro e fevereiro de 2000. Com a utilização do planejamento, aumentou para R\$ 17.624,94 por veículo (cenário II). Com a utilização do planejamento e inserção de capital para aquisição e melhoria das estradas, este valor médio de receita bruta por veículo elevou-se para R\$ 21.335,46.

Com relação ao custo total médio por veículo, observa-se que este vai aumentando à medida que o processo vai se tornando mais eficiente, isto é, com a elevação da quantidade média transportada por veículo, houve um aumento do número de viagens por veículo, gerando assim um custo total médio maior por caminhão. No cenário I, o custo total médio da frota girava em torno de R\$ 17.263,38 por veículo para o período de estudo. No cenário II, este custo passou para R\$ 21.524,91 por

veículo e posteriormente R\$ 24.416,05 por veículo do cenário III. Estes valores são mostrados no Gráfico 05.

Nota-se que o custo total aumenta em função de cada cenário de otimização. Isto ocorre em função do aumento do custo fixo médio e custo variável médio que compõem o custo total médio. Como se pode observar no gráfico acima, à medida que o processo vai ficando mais eficiente, o custo fixo médio e custo variável médio tendem a se elevar.

O custo fixo médio aumenta em virtude da eliminação do processo ou a cada nível de otimização dos caminhões mais velhos, reduzindo a idade média na empresa. Conforme já descrito, caminhões mais novos possuem um custo fixo maior quando comparado com os caminhões mais velhos. Já o custo variável por veículo tende a aumentar devido ocorrer um aumento no número de viagens por veículo.

Embora os custos totais e produção individual por veículo aumentem, o custo médio unitário tende a diminuir. Essa redução, ilustrada no Gráfico 06, ocorre em função do aumento do custo total e da quantidade média transportada, sendo que a primeira aumentou em valores menos que proporcional que a segunda, gerando, assim, um custo médio unitário menor à medida que os cenários iriam ocorrendo. No cenário I, o custo médio unitário era de R\$ 7,74 por tonelada transportada e reduziu para R\$ 6,34 no cenário II e, conseqüentemente, para R\$ 5,94 por tonelada no cenário III.

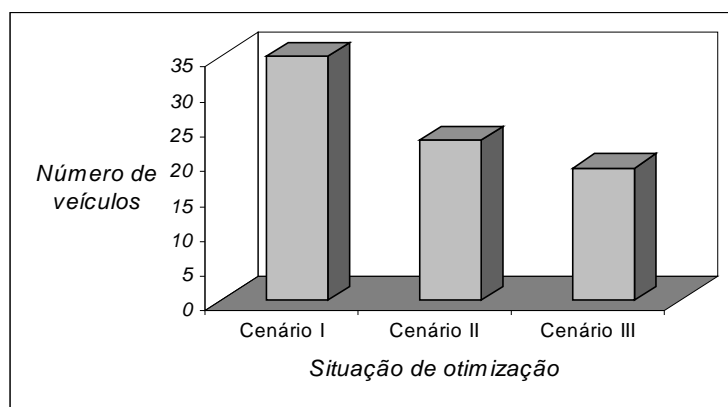


Gráfico 1: Número de veículos

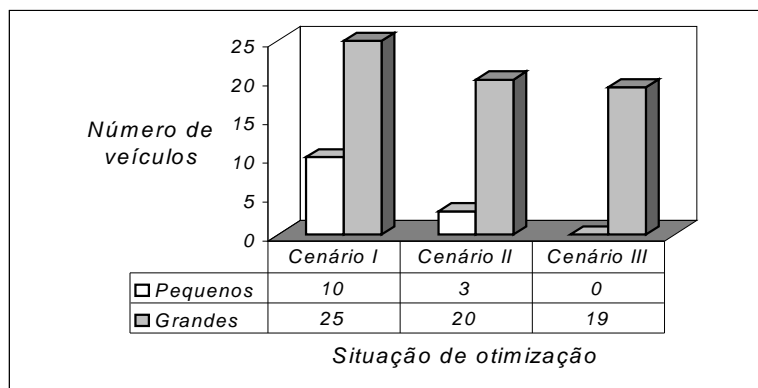


Gráfico 2: Número de caminhões pequenos e grandes

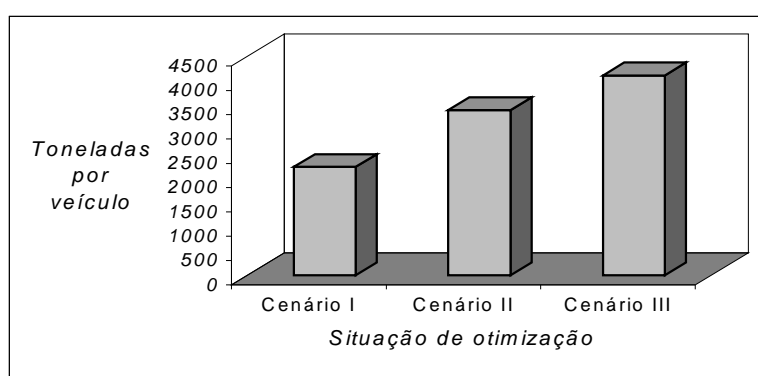


Gráfico 3: Quantidade média bimensal de madeira transportada por veículo

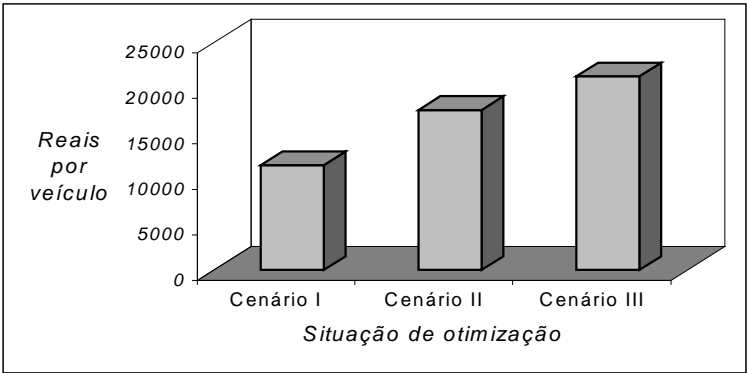


Gráfico 4: Receita bruta média bimensal em reais por veículo

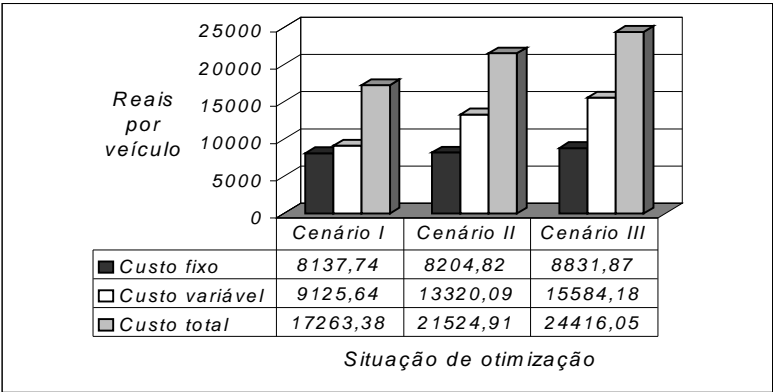


Gráfico 5: Custos médios bimensais em reais por veículo

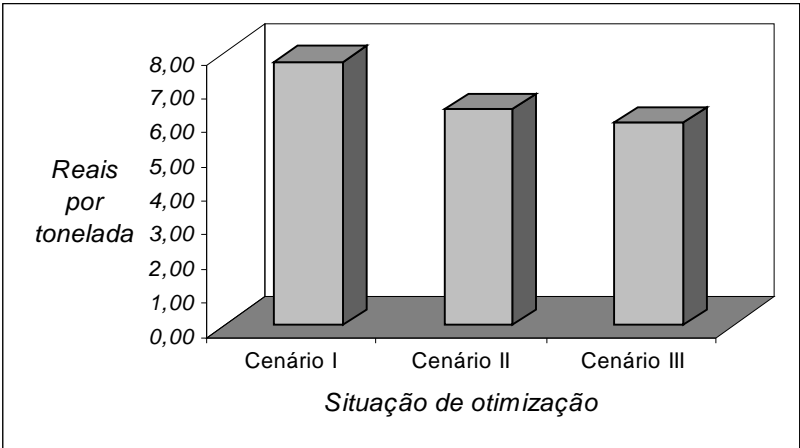


Gráfico 6: Custo total médio unitário (Reais por tonelada)

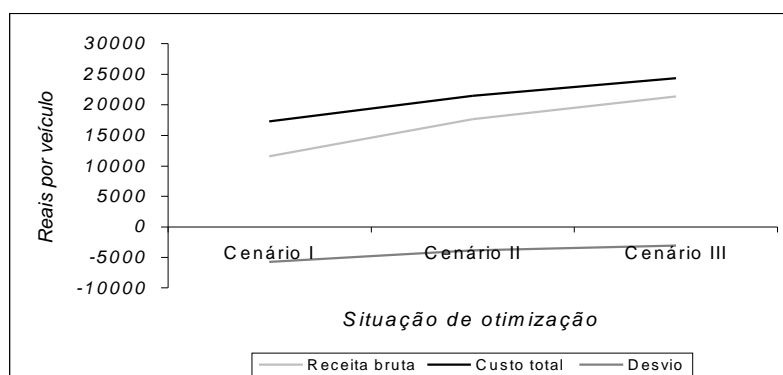


Gráfico 7: Avaliação de custos e receitas bimensais por veículo

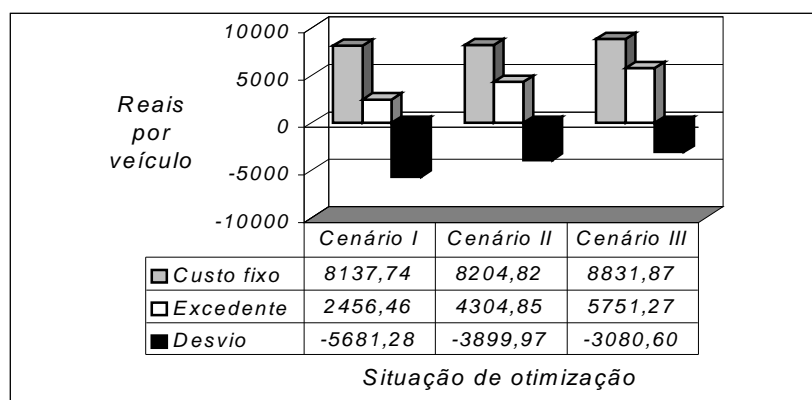


Gráfico 8: Remuneração dos custos bimensal por veículo

Analisando o custo total médio em conjunto com a receita bruta média, observa-se que a receita bruta média da frota é inferior ao custo total médio, gerando assim um déficit, indicando que parte do custo não está sendo remunerada. Esta análise comparativa entre custos e receitas pode ser observada no Gráfico 07.

Verifica-se que, inicialmente, o custo total por veículo é maior que a receita bruta por veículo. Essa diferença entre custos e receita representada no gráfico acima, diminui à medida que ocorrem as fases de otimização (cenário I, II e III) e é representada no gráfico pela linha cinza (item desvio).

O Gráfico 08 mostra o custo fixo por veículo e o excedente utilizado para remunerar o custo fixo. Este excedente foi obtido através da receita bruta por veículo, decrescido do custo variável por veículo, ou seja, neste caso foi apenas remunerado o custo variável. O

valor de R\$ 2.456,46 é utilizado para remunerar o custo fixo de R\$ 8.137,74 (cenário I). Como o valor utilizado para remunerar o custo fixo é inferior ao próprio custo fixo, parte deste deixará de ser remunerado. Isto também ocorre para os cenários II e III, embora a diferença entre os dois valores (excedente e custo fixo) vai diminuindo à medida que ocorrem os cenários.

CONCLUSÕES

- No quadro atual da empresa (cenário I), os custos variáveis estão sendo remunerados no curto prazo. Porém, como os custos fixos não são cobertos, há tendência de falência no longo prazo, devido à impossibilidade de se constituir uma poupança ou fundo de depreciação para a substituição do veículo no futuro.

- Com o processo operacional atual da empresa, caminhões mais novos têm custo unitário relativamente mais elevado em relação aos caminhões mais velhos, pois com um processo operacional mais ineficiente, os veículos mais novos não diluem os custos fixos, acarretando assim num custo unitário maior. Processos operacionais ineficientes favorecem caminhões pequenos e com idade média de uso mais avançada e, à medida que este processo vai se tornando mais eficiente, veículos maiores e mais novos são favorecidos;
- A empresa pode optar por diferentes níveis de otimização, conforme ilustrado pelo cenário II e pelo cenário III, embora o primeiro traga baixo custo de investimento e um elevado índice de retorno financeiro e o segundo um alto valor de investimento e um resultado não tão expressivo quando comparado com o cenário II;
- O cenário II foi à situação de maior retorno financeiro (baixo nível de investimento e uma elevada redução dos custos de produção da frota), devido à grande quantidade de veículos que se reduziu, não em função da racionalização do tempo de fila de espera, mas devido à eliminação da grande quantidade de veículos que estavam em excesso no processo produtivo da empresa, pois dos 12 caminhões eliminados na primeira situação, 10 estavam em excesso e somente 2 estavam em função da fila de espera, tanto para carga quanto para a descarga;
- O combustível foi o fator que mais onerou o custo variável da frota. Em relação aos custos fixos, os caminhões mais novos tiveram os custos fixos influenciados pela depreciação elevada do veículo, enquanto caminhões com idade mais avançada foram afetados pela mão de obra (motorista);
- De todos os fatores analisados no transporte, a quantidade de veículos que estava em excesso no processo produtivo da empresa foi o fator preponderante para a elevação do custo total da frota, pois dos 35 veículos que atuam no transporte da empresa, apenas 25 são suficientes para suprir a demanda de madeira requerida pela indústria;
- Mesmo que a empresa possua um processo operacional bastante otimizado, não seria o

suficiente para que o custo médio unitário fosse inferior à tabela de preço oferecida, pois os preços de mercado empregado para remunerar os fatores de custo para a elaboração da tabela de frete se encontram desatualizados;

- A eficiência do processo operacional e idade média da frota possui uma relação inversamente proporcional, pois à medida que a eficiência aumenta, a idade média reduz e com isto o custo médio unitário diminui, trazendo ganhos significativos para ambas as partes (freteiros e empresa);

BIBLIOGRAFIA CITADA

BERGER & DUARTE. **Estudo do transporte de madeiras** – Floresta Rio Doce. Curitiba, 1988, p. 76 .

MACHADO, C. C. **Transporte Florestal Rodoviário**. Viçosa. Imprensa Universitária. Universidade Federal de Viçosa - UFV. 1989, p.40.