

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MODELAGEM ESTATÍSTICA DO FRETE DA MADEIRA NO
URUGUAI**

DANILO SIMÕES

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP
Julho - 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MODELAGEM ESTATÍSTICA DO FRETE DA MADEIRA NO
URUGUAI**

DANILO SIMÕES

Orientador: Prof. Dr. Paulo Torres Fenner
Co-orientador: Prof. Dr. José Raimundo de Souza Passos
Co-orientador: Prof. Dr. Gustavo Andrés Daniluk Mosquera

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP
Julho - 2011

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

S593m Simões, Danilo, 1973-
Modelagem estatística do frete da madeira no Uruguai / Danilo Simões. - Botucatu : [s.n.], 2011
xiii, 68 f. : ils. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2011
Orientador: Paulo Torres Fenner
Co-orientador: José Raimundo de Souza Passos
Gustavo Andrés Daniluk Mosquera
Inclui bibliografia

1. Madeira - Custos. 2. Madeira - Logística. 3. Modelo Linear Generalizado. 4. Transporte florestal. I. Fenner, Paulo Torres. II. Passos, José Raimundo de Souza. III. Mosquera, Gustavo Andrés Daniluk. IV. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. V. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "MODELAGEM ESTATÍSTICA DO FRETE DA MADEIRA NO URUGUAI"

ALUNO: DANILO SIMÕES

ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO TORRES FENNER

Aprovado pela Comissão Examinadora



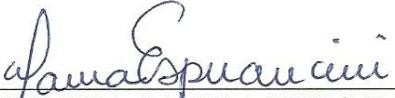
PROF. DR. PAULO TORRES FENNER



PROF. DR. EZER DIAS DE OLIVEIRA JUNIOR



PROFA. DRA. LICIANA VAZ DE ARRUDA SILVEIRA



PROFA. DRA. MÁURA SEIKO T. ESPERANCINI



PROF. DR. LUCIANO BARBOSA

Data da Realização: 14 de julho de 2011.

Dedico

*à minha mãe Magdalena e à
minha avó Cecilia (em memória),
com carinho e gratidão.*

AGRADECIMENTOS

À Deus e aos anjos guardiães por me iluminar e proteger.

Aos orientadores Paulo Torres Fenner, José Raimundo de Souza Passos e Gustavo Andrés Daniluk Mosquera pela confiança, ensinamentos e competência com que me auxiliaram.

À minha querida Magali por estar presente com amor, carinho e muita paciência durante todo o desenvolvimento desse estudo.

Ao meu irmão Marcelo Eduardo por sua presença e lealdade.

À minha tia Rosa pelo auxílio constante.

Aos amigos José Carlos Pezzoni Filho, Ricardo Ghantous Cervi e Richardson Barbosa Gomes da Silva, por toda a ajuda prestada e valiosa amizade.

Ao Andrés C. Dalto Peláez por me receber no Uruguai de forma tão cordial.

À UPM Uruguay, representada pelo gerente de colheita e logística Mauro Real de Azúa, juntamente com os colaboradores Carola Oddone, Federico Lussich, Federico Rey Argimón, Martín Muñoz, Miguel Otegui, Sandra De Leon e Yehan Echenique pela oportunidade do desenvolvimento do estudo e infra-estrutura recebida.

Ao amigo uruguaio Pajarito pelas longas conversas e companheirismo.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências Agrônomicas e *Universidad de la República - Facultad de Agronomía* pelas oportunidades proporcionadas.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudos concedida e, à Roberta Peixoto Áreas Silva analista responsável pelo projeto CAPES/UDELAR pela atenção.

SUMÁRIO

Página

SUMÁRIO.....	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xi
RESUMO	xii
SUMMARY	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Setor florestal do Uruguai	3
2.2 Sistemas de transportes rodoviário.....	5
2.2.1.1 Combinações de Veículos de Carga.....	7
2.2.2 Legislação do transporte rodoviário	9
2.2.2.1 Dimensões das Combinações de Veículos de Carga.....	10
2.2.2.2 Massa das Combinações de Veículos de Carga	11
2.3 Custo operacional das Combinações de Veículos de Carga.....	12
2.3.1 Custo do transporte rodoviário da madeira	14
2.4 Técnicas de modelagem	15
2.4.1 Modelos Lineares Generalizados	16
2.4.2 Análise do desvio residual.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Material	19
3.1.1 Fluxo do transporte rodoviário da madeira	20
3.1.2 CVC utilizadas no transporte rodoviário da madeira	21
3.2 Métodos.....	24
3.2.1 Estudo de tempos e movimentos	24
3.2.2 Estimativa do custo operacional das CVC	24
3.2.2.1 Custos fixos.....	25
3.2.2.1.1 Custo de administração	25

3.2.2.1.2	Depreciação	25
3.2.2.1.3	Custo de garagem	26
3.2.2.1.4	Custo de inspeção técnica veicular.....	26
3.2.2.1.5	Custo de oportunidade.....	27
3.2.2.1.6	Custos de mão-de-obra.....	27
3.2.2.1.6.1	Custos de mão-de-obra com motoristas.....	28
3.2.2.1.6.2	Custo de mão-de-obra com mecânicos e ajudantes	28
3.2.2.1.6.3	Custos de mão-de-obra com gerentes	28
3.2.2.1.6.4	Custos de mão-de-obra com pessoal técnico-administrativo	29
3.2.2.1.7	Impostos de veículos automotores	29
3.2.2.2	Custos variáveis.....	30
3.2.2.2.1	Custo de combustível	30
3.2.2.2.2	Custo de filtros	30
3.2.2.2.3	Custo de lavagem e lubrificação	31
3.2.2.2.4	Custo de reparos e manutenção	31
3.2.2.2.5	Custo de óleo lubrificante	32
3.2.2.2.6	Custo de oficina própria	33
3.2.2.2.7	Custo de pedágio	33
3.2.2.2.8	Custo de pneumáticos.....	34
3.2.3	Frete rodoviário da madeira.....	34
3.2.4	Análises estatísticas	35
4	RESULTADOS	37
4.1	Análise operacional do transporte rodoviário da madeira.....	37
4.2	Custos das CVC.....	44
4.3	Ajuste do modelo do frete da madeira.....	49
4.3.1	Análise do ajuste dos modelos do frete da madeira.....	51
4.4	Frete esperado da madeira	53
5	CONCLUSÕES	56
6	REFERÊNCIAS	57
7	APÊNDICES	65

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. CVC utilizadas no transporte rodoviário da madeira no Brasil.....	8
Tabela 2. Identificadores das principais distribuições pertencentes à Família Exponencial.....	17
Tabela 3. Características dos povoamentos florestais por região de estudo no Uruguai.....	21
Tabela 4. Marcas e modelos das CVC utilizadas no transporte rodoviário da madeira no Uruguai.	23
Tabela 5. Média e desvio padrão dos tempos, em minutos, das atividades parciais do transporte rodoviário da madeira na região Oeste do Uruguai.	39
Tabela 6. Média e desvio padrão dos tempos, em minutos, das atividades parciais do transporte rodoviário da madeira na região Norte do Uruguai.	40
Tabela 7. Média e desvio padrão dos tempos, em minutos, das atividades parciais do transporte rodoviário da madeira na região Centro-Oeste do Uruguai.	41
Tabela 8. Média e desvio padrão das velocidades e do ciclo operacional das CVC na região Oeste do Uruguai.	42
Tabela 9. Média e desvio padrão das velocidades e do ciclo operacional das CVC na região Norte do Uruguai.	43
Tabela 10. Média e desvio padrão das velocidades e do ciclo operacional das CVC na região Centro-Oeste do Uruguai.	44
Tabela 11. Média e desvio padrão dos custos das CVC em operação na região Oeste do Uruguai.	45
Tabela 12. Média e desvio padrão dos custos das CVC em operação na região Norte do Uruguai.	46
Tabela 13. Média e desvio padrão dos custos das CVC em operação na região Centro-Oeste do Uruguai.	47
Tabela 14. Modelos estatísticos para a estimativa do frete esperado da madeira (\hat{f}) no Uruguai.	49
Tabela 15. Parâmetros do frete esperado da madeira para a região Oeste do Uruguai.	52
Tabela 16. Parâmetros do frete esperado da madeira para a região Norte do Uruguai.	52

Tabela 17. Parâmetros do frete esperado da madeira para a região Centro-Oeste do Uruguai. 53

Tabela 18. Frete esperado da madeira no Uruguai.54

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Condições de trafegabilidade das rodovias do Uruguai.....	6
Figura 2. Localização dos povoamentos florestais no Uruguai que originaram a madeira transportada durante o estudo.	20
Figura 3. CVC C12-R11 utilizada no transporte rodoviário da madeira no Uruguai.....	22
Figura 4. CVC T12-S2 utilizada no transporte rodoviário da madeira no Uruguai.	22
Figura 5. CVC T12-S3 utilizada no transporte rodoviário da madeira no Uruguai.	23
Figura 6. Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional das CVC avaliadas no Uruguai.....	48
Figura 7. Gráfico dos resíduos dos modelos ajustados para as fazendas consolidadas localizadas na região Norte do Uruguai.	50
Figura 8. Gráfico dos resíduos dos modelos ajustados para a fazenda consolidada localizada na região Oeste do Uruguai.	50
Figura 9. Gráfico dos resíduos dos modelos ajustados para as fazendas consolidadas localizadas na região Centro-Oeste do Uruguai.....	51
Figura 10. Isolinhas obtidas por meio da suavização por <i>spline</i> cúbica.....	55

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a.a. - Ao ano

AET - Autorização Especial de Trânsito

CMT - Capacidade Máxima de Tração

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito

CTB - Código de Trânsito Brasileiro

CVC - Combinações de Veículos de Carga

DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte

ECE - *Commission for Europe*

FAO - *Food and Agriculture Organization*

g cm⁻³ - gramas por centímetros cúbicos

HDM-III - *Highway Design and Maintenance Standards Model*

h - Hora

HP - *Horse Power*

IVA - *Impuesto al Valor Agregado*

kgf m - Quilograma força por metro

km - Quilômetro (s)

KWF - *Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik*

L - Litro

MLG - Modelo Linear Generalizado

MTOP - *Ministerio de Transporte y Obras Públicas de la República Oriental del Uruguay*

MBT - Massa Bruta Total

MBTC - Massa Bruta Total Combinada

n° - Número

RBC - Relação custo-benefício

SAS - *Statistical Analyses System*

spp - Espécies

t - Tonelada

U\$ - *Peso Uruguayo* (moeda nacional)

UNECE - *United Nations Economic Commission for Europe*

US\$ - Dólar Americano (moeda nacional)

RESUMO

A dificuldade para estimar o frete da madeira é decorrente da grande quantidade de fatores que abrangem a operação de transporte. A magnitude dos valores econômicos envolvidos impõe a necessidade de empregar procedimentos que expressem as condições reais da operação e, que possibilitem identificar as principais covariáveis explicativas do frete. Assim sendo, pelo fato do frete apresentar uma distribuição assimétrica faz-se necessário utilizar um teste estatístico paramétrico. Neste estudo testou-se a hipótese de que o frete da madeira poderia ser estimado por meio do conceito de Modelo Linear Generalizado. Para isso foi utilizada a distribuição de probabilidade gama por ser mais robusta à variabilidade e possibilitar a incorporação da assimetria. Os objetivos deste estudo foram propor a estimativa do custo operacional das Combinações de Veículos de Carga por meio do método contábil e aprimorar o processo de decisão do frete da madeira com a utilização de metodologia estatística, utilizando covariáveis explicativas. Confirmando a hipótese desse estudo, o Modelo Linear Generalizado, com resposta gama e função de ligação logarítmica, é apropriado para estimar o frete da madeira, sob a condição de que sejam validados modelos estatísticos específicos para cada povoamento florestal. A identificação das covariáveis que explicam o frete da madeira permite a otimização do uso das Combinações de Veículos de Carga e, conseqüentemente a minimização do frete da madeira.

Palavras-chave: Custos; logística; Modelo Linear Generalizado; transporte florestal.

STATISTICAL MODELING OF TIMBER FREIGHT IN URUGUAY. Botucatu, 2011.
68f. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: DANILO SIMÕES

Adviser: PAULO TORRES FENNER

Co-Adviser: JOSÉ RAIMUNDO DE SOUZA PASSOS

Co-Adviser: GUSTAVO ANDRÉS DANILUK MOSQUERA

SUMMARY

The difficulty in estimating timber freight is results from numerous factors that include the transport operation. The magnitude of economic values involved necessitates employing procedures that express the real operational conditions and enable identification of the principal explanatory covariates for freight. Thus, given the fact that freight presents an asymmetric distribution, it is necessary to utilize a parametric statistical test. The present study tested the hypothesis that the timber freight may be estimated through the concept of the Generalized Linear Model. For this a probability gamma distribution was employed on account of being more robust to variability and enabling the incorporation of asymmetry. This study aimed to propose an operational cost estimate of combinations of cargo vehicles by the accounting method and to improve the timber-freight decision-making process by use of a statistical methodology, using explanatory covariates. Confirming the hypothesis of this study, the Generalized Linear Model, with gamma response and logarithmic link function, is appropriate to estimate the timber freight under the condition that specific statistical models are validated for each forest settlements. The identification of covariates that explain the timber freight permits optimization of the use of combinations of cargo vehicles and, consequently the minimization of timber freight.

Key words: Costs; logistics; Generalized Linear Model; forest transport.

1 INTRODUÇÃO

A matriz de transporte do Uruguai caracteriza-se predominantemente pelo modal rodoviário. As normas de trânsito uruguaias são constituídas pela Lei n° 18.191, de 14 de novembro de 2007, que instituiu a primeira Lei de Trânsito e Segurança Viária no Território Nacional. Já o transporte da madeira, realizado por meio das rodovias, é baseado no Decreto n° 156/009 de 16 de março de 2009, que regulamenta o transporte de produtos florestais.

O modal rodoviário tem a característica de possuir uma elevada eficiência, principalmente pelo setor florestal, o qual possibilita o acesso das Combinações de Veículos de Carga até o interior dos povoamentos florestais. Em contrapartida os custos relacionados ao transporte rodoviário da madeira, possuem uma expressiva participação no custo final da produção, o que evidencia a necessidade de esforços visando à minimização dos recursos financeiros, despendidos nesta operação.

Dessa forma, a questão sobre o transporte rodoviário da madeira torna-se um desafio constante, devido à magnitude dos valores econômicos envolvidos e da dificuldade para estimar custos operacionais que garantam um frete da madeira competitivo e economicamente viável. Portanto para a obtenção de valores satisfatórios, que possam atender essas necessidades, sugere-se que os gestores que administram essa operação, adotem procedimentos de estimativas que possam expressar as condições reais de trabalho e mensurem, sobretudo, os principais parâmetros explicativos.

Geralmente, no setor florestal, são utilizadas metodologias para a estimativa do frete da madeira que não contemplam os fatores associados ao desempenho e à eficiência operacional. Assim sendo, tornam-se uma solução pouco satisfatória. Em virtude dessa deficiência e em função da importância que os valores econômicos envolvidos na operação de transporte rodoviário da madeira exercem sobre o custo final do produto, é necessário considerar também as covariáveis associadas aos fatores externos ao custo operacional. Acredita-se assim, que o estudo do frete da madeira pode ser aperfeiçoado com a utilização de técnicas de modelagem estatística.

De acordo com Spedding (1988) modelagem é a abstração e simplificação da realidade capaz de integrar as principais interações e comportamento do sistema estudado, apta a ser manipulada com o objetivo de prever consequências da modificação de um ou de vários parâmetros sobre o comportamento do sistema.

Em um processo de estimativa do frete da madeira, por exemplo, a modelagem estatística possibilita identificar, no conjunto de dados, quais são as covariáveis que explicam a variável resposta, permitindo a sua otimização.

Dentre os diversos métodos de modelagem estatística, o Modelo Linear Generalizado (MLG) proposto por Nelder e Wedderburn (1972), destaca-se por ser um dos mais utilizados além de ter sido uma das primeiras metodologias aplicadas para a modelagem de dados discretos.

Neste estudo testou-se a hipótese de que o frete da madeira poderia ser estimado por meio do conceito de Modelo Linear Generalizado. Assim sendo, os objetivos deste estudo foram propor a estimativa do custo operacional das Combinações de Veículos de Carga por meio do método contábil e aprimorar o processo de decisão do frete da madeira com a utilização de metodologia estatística, utilizando covariáveis explicativas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Setor florestal do Uruguai

As primeiras sementes de eucaliptos chegaram ao Uruguai por volta de 1823, porém somente após a aprovação da Lei n° 15.939, de 28 de dezembro de 1987, que instituiu a Lei Florestal, que o setor se intensificou. No início de 2002 duas grandes multinacionais, iniciaram as instalações de parques industriais projetados para a produção de celulose, por meio dos melhores processos de ecoeficiência.

O setor florestal uruguaio possui um grande potencial a ser explorado, o qual faz com que o País se torne emergente para o setor, ponderando principalmente as características sociais e ambientais. Os povoamentos florestais estão localizados geograficamente de acordo com o destino final da madeira, utilizada como matéria-prima pelas empresas de base florestal, que impulsionam a atividade econômica do País. Esses povoamentos possuem uma variedade limitada de espécies e estão concentrados nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Oeste e Norte.

Segundo Sans et al., (2007) com a promulgação da Lei Florestal do Uruguai, se impulsionou uma política de promoção do setor, o que fez incrementar notavelmente a cobertura florestal com espécies de rápido crescimento, fundamentalmente com pinus e eucaliptos.

Nas últimas duas décadas, o setor florestal uruguaio iniciou uma ação contínua de atividades, que têm por finalidade o alcance de novos conhecimentos e domínio

científico. O País destaca-se pelo interesse de investidores nacionais e internacionais pelos incentivos fiscais e tributários concedidos, por possuir uma estabilidade econômica e por possuir áreas planas que possibilitam a mecanização.

Associado a este processo e assegurado pela disponibilidade de matéria-prima, têm sido consolidado neste período, a instalação de parques industriais com altos níveis de desenvolvimento tecnológico para a produção de celulose e de cavacos de madeira. Estas indústrias formam verdadeiros polos industriais regionais, os quais proporcionaram um aporte significativo ao desenvolvimento econômico e social do território nacional (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA - INIA, 2009).

Segundo a Sociedade de Produtores Florestais do Uruguai (SOCIEDAD DE PRODUCTORES FORESTALES - SPF, 2011a) as exportações do setor florestal ultrapassaram 1,0 milhão de dólares no ano de 2010. Dentro desse setor destacam-se as exportações de celulose com 73% e de cavacos de madeira com a participação de 12% do total das exportações.

Informações do *Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca* por meio da *Dirección General Forestal* (DIRECCIÓN GENERAL IMPOSITIVA - DGI, 2011), revelam que o País em 2010, possuía uma área de florestas plantadas de aproximadamente 890 mil hectares, que representa aproximadamente 5% do território nacional. Os povoamentos florestais de *Eucalyptus* spp correspondem em torno de 60% e as florestas de pinus a 30%, transformados em matéria-prima para a produção de madeira serrada e celulose, exportadas em totalidade aos grandes mercados mundiais como Espanha, Japão, Noruega, Estados Unidos da América, China, Finlândia, entre outros.

A *Sociedad de Productores Forestales* - SPF (2011b) assegura que dos 17,6 milhões de hectares de terra do Uruguai, aproximadamente 15 milhões podem ser utilizados em atividades agroflorestais, sendo destinadas as florestas plantadas 5,3% da respectiva área. O setor florestal no Uruguai se identifica em 4 regiões do país. A região Sudeste caracterizada por plantações onde se predomina a espécie *Eucalyptus globulus*, a região Centro-Sul pela predominância de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus globulus*, sendo esta também para a região Noroeste a qual se agrega o *Eucalyptus dunnii*, sendo o destino principal destas plantações a produção de polpa de celulose. Por último, na região Norte, além

do *Eucalyptus grandis*, existem áreas com *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, destinados a madeira serrada (SANS et al., 2007).

2.2 Sistemas de transportes rodoviário

Segundo Caixeta Filho (2001) cada modalidade de transporte oferece uma série de vantagens e desvantagens para a movimentação de cargas. Machado et al. (2009) afirma que o transporte rodoviário no Brasil é o meio predominante, devido à extensa malha rodoviária. Atualmente, 65% do transporte de cargas é realizado por esse modal, enquanto que nos países em desenvolvimento é de 40%, e de 30% nos desenvolvidos.

Segundo Freitas (2004), o modal de transporte rodoviário possui um alto custo e reduzida capacidade de tração em relação aos demais modais, entretanto ainda é um meio de transporte eficaz devido à rapidez no deslocamento de cargas.

Hederstrom (1975) faz referência à importância de se considerar as perdas em se tratando do transporte florestal, pois elas ocorrem devido às diferenças que existem em termos de volume, massa e forma da matéria-prima madeira antes do processo de produção (toras).

De acordo com Machado et al. (2009) a operação de transporte rodoviário florestal consiste na movimentação da madeira dos pátios ou das margens das estradas até o local de consumo. As decisões sobre o transporte dependem diretamente da densidade do produto devido aos custos desta atividade e da distância entre o povoamento florestal e o parque industrial.

Atualmente, no Uruguai, a matriz principal do transporte da madeira utilizada como matéria prima para as indústrias de base florestal é a rodovia, a qual apresenta uma densa quantidade. De acordo com o Ministerio de Transporte y Obras Públicas - MTOP (2007), essas rodovias são abrangidas em sua maioria por pistas de rodagem simples, pois apenas algumas possuem pistas de rodagem dupla, entretanto as condições de trafegabilidade consideradas muito boa ou boa representam 57% das rodovias, 26% consideradas como regular e 17% classificadas como ruim, conforme apresentado na Figura 1.

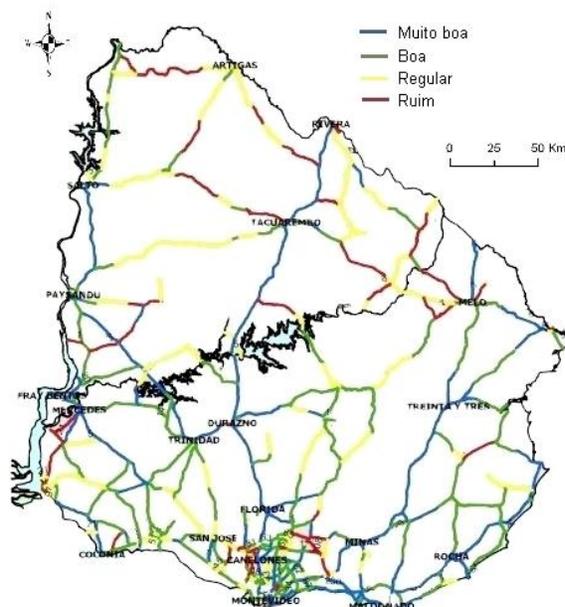


Figura 1. Condições de trafegabilidade das rodovias do Uruguai.
Fonte: MTOP (2007) adaptado.

Paulo (2004) afirma que o sistema rodoviário é o principal transportador de cargas agrícolas e florestais no Brasil. Na maioria das vezes, é a única alternativa para movimentação desses tipos de produtos, devido à escassez de hidrovias e ferrovias que liguem grandes distâncias e, ao mesmo tempo, situem-se perto dos estabelecimentos rurais, com ramais e estações de embarque e descarga.

A escolha brasileira pelo transporte rodoviário trouxe embutidas, diversas consequências ambientais. Além do grande efeito poluidor dos gases liberados pelos escapamentos dos automóveis, há o impacto da construção das estradas que implica na movimentação de enormes quantidades de terra, desmatamento, alterações na forma de escoamento das águas, assoreamento de rios, erosões e expansão urbana associada (SPEGLICH, 2004).

O setor florestal depende mais ainda desse meio de transporte, aproveitando-se do sistema de estradas pavimentadas que interligam todas as regiões do País. Todavia, pelas características de especificidade de carga e exclusividade de frete, impõe ao veículo operar carregado somente em um sentido, fazendo com que os custos se tornem maiores por unidade de volume do que em outros tipos de transporte (MACHADO et al., 2009).

2.2.1.1 Combinações de Veículos de Carga

De acordo com Imparato e Santos (1983) os veículos utilizados no transporte florestal variam amplamente de acordo com o tamanho e a capacidade de carga, sendo sua seleção baseada de acordo com as necessidades de transporte e as condições locais.

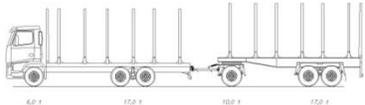
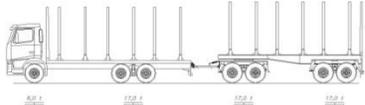
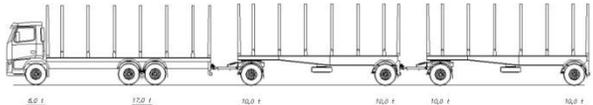
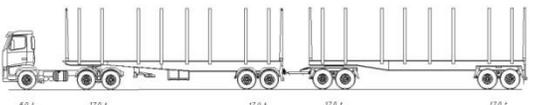
Machado et al. (2005) afirmam que para a aquisição de um veículo com finalidades para o transporte florestal, as empresas quase exclusivamente têm-se baseado nas recomendações dos fabricantes e na facilidade de aquisição. Segundo Saab-Scania do Brasil S/A (1988), nos veículos de transporte é desejável uma tara menor possível para aumentar a carga útil, uma vez que legalmente, o veículo é limitado a uma Massa Bruta Total (MBT) e à Massa Bruta Total Combinada (MBTC).

Conforme discutido por Widmer (2004), ainda não existe nomenclatura técnica formalmente adotada por órgãos reguladores que claramente descreva Combinações de Veículos de Carga (CVC) de concepção mais recente, informalmente chamadas de bitrens, rodotrens, tritrens, entre outras. De acordo com Rodrigues (2007) oficialmente, os veículos utilizados no transporte rodoviários são classificados por sua capacidade de carga, quantidade e distância de eixos.

No Brasil, o transporte rodoviário florestal é realizado com diferentes tipos (modelos) de veículo, em razão da distância de transporte, do volume da madeira a ser deslocada, das condições locais das regiões, da capacidade de carga do veículo e dos tipos de equipamentos de carregamento e descarregamento (MACHADO et al., 2009).

Os veículos utilizados no transporte florestal rodoviário, de acordo com Machado et al. (2005) podem ser classificados de duas formas: tipos de veículos e classes. Na Tabela 1 são apresentadas as CVC mais utilizadas atualmente no transporte rodoviário florestal brasileiro segundo Machado et al. (2009), regulamentadas pelo Código Brasileiro de Trânsito (CTB), nos quais constam os limites para dimensões, massa bruta total e massa por eixo, que devem ser observados para todos os veículos de carga que circulam nas vias terrestres.

Tabela 1. CVC utilizadas no transporte rodoviário da madeira no Brasil.

CVC*	MBT (t)	Comprimento máximo (m)	Nº de eixos	**AET
 Romeu e Julieta (caminhão trucado + reboque)	50	19,80	6	Não
 Romeu e Julieta (caminhão trucado + reboque)	57	19,80	7	Não
 Bitrem articulado (caminhão trator trucado + dois semi reboques)	57	19,80	7	Sim
 Treminhão (caminhão trucado + dois reboques)	63	30,00	7	Sim
 Tritrem (caminhão trator + três semi reboques)	74	30,00	9	Sim
 Rodotrem (caminhão trator trucado + dois semi reboques com dolly)	74	30,00	9	Sim

* Eixos dos semi-reboques e reboques com rodados duplos; ** AET - Autorização Especial de Trânsito.
Fonte: Machado et al. (2009) adaptado; ¹Lençóis Tecnologias Rodoviárias (2009) adaptado.

Atualmente o Ministério do Transporte e Obras Públicas do Uruguai, por meio da Direção Nacional de Transporte, permite apenas a circulação de caminhões simples, caminhões com reboque e caminhões com semi reboque, os quais devem possuir uma relação potência/massa maior ou igual a 4,5 HP/t, para veículos com MBT de até 45,0 t.

¹Imagens utilizadas na Tabela 1 com o consentimento da Lençóis Tecnologias Rodoviária, de acordo com a Legislação Brasileira - Lei Nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

2.2.2 Legislação do transporte rodoviário

O Ministério de Transporte e Obras Públicas da República Oriental do Uruguai, por meio do Regulamento de Limites de Massa aprovado pelo Decreto 326/986 de 25 de junho de 1986, estabelece para eixo isolado com dois pneumáticos, a massa máxima de 6t e para eixos com quatro pneumáticos o máximo de 10,5t. A separação entre dois eixos simples deverá ser maior ou igual a 2,40m entre eles. Para eixos duplos homogêneos com oito pneumáticos o estabelecido é de 18t e para o conjunto de eixos triplos com doze pneumáticos existe uma diferenciação. Atualmente, em dezessete rodovias do País que englobam dezenove trechos, o permitido é 25,5t e para as demais vias nacionais está estabelecido 22t, sendo essa permissão atualizada periodicamente por meio de Resolução (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS - MTOP, 2009).

Por meio do Decreto 326/986 de 25 de junho de 1986, o Ministério de Transporte e Obras Públicas da República Oriental do Uruguai estabelece a tolerância de 5% sobre os limites de massa para os eixos simples e 3% para os eixos duplos e triplos, para os veículos de transporte de passageiros e cargas.

A Legislação Brasileira, popularmente conhecida por Lei da Balança, estabeleceu uma carga máxima por eixo. No caso de eixo isolado com quatro pneumáticos, a massa máxima permitida é 10t, enquanto para eixo isolado com dois pneumáticos, direcional ou não, a massa máxima é 6t. Um eixo é considerado isolado quando se situa a mais de 2,40m do vizinho mais próximo. Já para conjuntos de dois eixos de quatro pneumáticos cada, estes podem suportar 17t, se forem em *tandem*, e 15t, se não forem em *tandem*. São considerados eixos em *tandem* dois ou mais eixos que constituam um conjunto integral de suspensão, podendo qualquer um deles ser ou não motriz (MACHADO et al., 2009).

No Brasil, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), por meio da Resolução 12/1998 de 06/02/1998, a qual se refere à fiscalização da massa dos veículos por balança rodoviária, estabelece que seja admitida a tolerância máxima de 5% sobre os limites de massas regulamentares, para suprir a incerteza de medição do equipamento, conforme legislação metrológica. Entretanto a Resolução CONTRAN 365/2010 de 24 de novembro de 2010, altera o artigo 17 da Resolução CONTRAN 258/2007, permitindo até 31 de dezembro de 2011 a tolerância máxima de 7,5% sobre os limites de massa bruta transmitida por eixo de

veículo à superfície das vias públicas (DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO - DENATRAN, 2009).

2.2.2.1 Dimensões das Combinações de Veículos de Carga

No Brasil o transporte da madeira nas estradas públicas está subordinado a uma série de normas legais. Essas normas se aplicam a todo tipo de carga transportada, uma vez que não existe legislação específica para os veículos que transportam produtos florestais. Atualmente, as normas de trânsito em vigor no País são ditadas pela Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o novo Código Nacional de Trânsito (MACHADO et al., 2009).

Ainda no Brasil, os comprimentos máximos permitidos são de 14,00m para veículo simples, 18,15m para o veículo articulado, 19,80m para veículos com reboques e 30,00m para veículos combinados (rodotrens, treminhões, etc.), sendo a largura máxima de 2,60m e a altura máxima de 4,40m (MACHADO et al., 2005). Os mesmos autores complementam que as CVC não poderão possuir MBTC superior a 74t, respeitando-se a Capacidade Máxima de Tração (CMT), ter comprimento máximo de 30m e limitar-se à massa estabelecida por eixo. No geral, as unidades tratoras devem respeitar o limite do MBTC, de acordo com a CMT da unidade tratora fornecida pelo fabricante.

Conforme a regulamentação do *Ministerio de Transporte y Obras Públicas* - MTOP (2005) podem trafegar pelas rodovias do Uruguai veículos simples e combinados com uma largura e altura máxima, respectivamente de 2,60m e 4,10m. Para os caminhões simples, o comprimento máximo permitido é de 13,20m. Para a combinação caminhão trucado com reboque, a permissão vigente é de 20,00m e para os caminhões trucado com semi reboque, o estabelecido é 18,60m de comprimento.

2.2.2.2 Massa das Combinações de Veículos de Carga

De acordo com Machado et al. (2009) no Brasil o MBT ou o MBTC não pode ultrapassar a CMT técnica. Um critério utilizado pelos fabricantes para estabelecer a CMT técnica é a adoção da relação de 6,0HP/t. Assim, um cavalo mecânico exige, no mínimo, 270HP para tracionar 45,0t.

Para Seixas (2001) o número de eixos na composição e a massa em cada eixo são fatores de preocupação para o transportador que busca a otimização da quantidade da madeira transportada por veículo sem, contudo, ultrapassar os limites estabelecidos pela Legislação Brasileira.

No Brasil, um conjunto em *tandem* de três eixos de quatro pneumáticos cada tem capacidade e permissão de acordo com o CONTRAN para 25,5t. Nos conjuntos em *tandem* de dois ou três eixos de quatro pneumáticos, a diferença de massas brutas entre eixos mais próximos não pode exceder 1.700kg. Tanto os limites de massa por eixo quanto os de massa bruta só prevalecem se todos os pneumáticos de um mesmo conjunto de eixos forem da mesma rodagem e calçarem rodas do mesmo diâmetro (MACHADO et al., 2009).

O CONTRAN certifica no Brasil, o direito de circulação de CVC caracterizada como caminhão trucado e um reboque com dois eixos duplos o MBTC de 43t. Para o caminhão trucado e semi reboque com conjunto de eixos em *tandem* duplo e distância maior a 2,40m entre eles, estabelece o MBTC máximo de 43t. Em relação ao caminhão trucado e semi reboque com conjunto de eixos em *tandem* triplo com distância maior que 1,20m e menor que 2,40m entre eles, assegura o MBTC de 48,5t.

O MTOP por meio da Direção Nacional de Transporte estabelece para as CVC caracterizadas como: C12-R11 com um eixo simples e um conjunto de eixos em *tandem* duplo e, um reboque com dois eixos duplos, com MBTC permitida de 45,0t; T12-S2 com um eixo simples e um conjunto de eixos em *tandem* duplo e, um semi reboque com conjunto de eixos em *tandem* duplo, com MBTC permitida de 45,0t; para T12-S3 com um eixo simples e um conjunto de eixos em *tandem* duplo e, um semi reboque com conjunto de eixos em *tandem* triplo, com MBTC permitida de 49,5t, entretanto para esta configuração deve

ser observada a restrição de circulação em determinados trechos de algumas rodovias (MTO, 2005).

Recentemente a União Europeia fixou limites de massa para as CVC, porém os governos nacionais podem definir seus próprios limites. Os cálculos baseados em uma análise de sustentabilidade para melhorar a logística de transporte no setor de base florestal mostraram que, por exemplo, permitindo 44,0t em seis eixos pode ser menos prejudicial para as estradas do que 40,0t. Além de menores danos ocasionados nas estradas, a diminuição dos limites de massa por eixo pode resultar em estradas mais seguras, assim, como a redução do impacto ambiental e aumento da rentabilidade para os proprietários e transportadores florestais (UNECE/FAO, 2010).

2.3 Custo operacional das Combinações de Veículos de Carga

De acordo com Hauser, Hsu e Goodwin, Allen e Liu e, Miljkovic et al., apud Correa Junior et al. (2001), os custos operacionais são considerados como uma variável exógena em trabalhos de pesquisa que buscam estudar a formação dos valores de frete.

Os custos operacionais podem influenciar o preço do frete praticado em diferentes rotas de maneira distinta. Ocorre, porém, que as diferenças regionais de interação entre a demanda e a oferta de serviços de transporte podem impedir que o impacto da elevação de custos operacionais sobre os valores dos fretes seja direto e homogêneo (CORREA JUNIOR, et al., 2001).

De acordo com Machado (1989) existem três métodos básicos para se calcularem os custos operacionais: Estimativa, onde se utilizam valores estimados, quer sejam do fabricante, quer sejam de experiência anterior, sendo empregado para se estimar o custo de um novo veículo; Contábil o qual utilizam valores estimados e reais no cálculo do custo operacional do veículo de transporte florestal, indicado para situações onde já se adquiriu o veículo, porém desconhecem-se alguns parâmetros, em virtude do pouco tempo de uso; Real que emprega somente valores reais nas estimativas, sendo esse indicado para situações onde o veículo já foi utilizado em toda a sua plenitude, durante toda a sua vida útil econômica.

Com o objetivo de selecionar e dimensionar a frota de veículos rodoviários utilizados no transporte rodoviário da madeira, Seixas (1992) utilizou a metodologia proposta por Streit et al. (1982) classificando os custos fixos em mensal e os custos variáveis em quilômetros percorridos. Lacowicz et al. (2002) afirmam que o custo fixo total, são os custos que não variam diretamente com a produção, ou seja, se mantêm constantes, independentes do uso dos veículos florestais e os custos variáveis se alteram diretamente de acordo com a produção e dependem do uso dos veículos florestais.

Um estudo comparativo de três metodologias utilizadas para a estimativa do custo operacional de veículos de transporte florestal realizado por Freitas et al. (2004) com as metodologias propostas em 1956 pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) – América do Norte, que em 1971 foi modificado pela *United Nations Economic Commission for Europe* e a *Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik* (FAO/ECE/KWF) e caracterizada no Brasil por Malinovski (1983) e, pelo método Battistella/Scânia, resultou como era previsto em valores distintos, uma vez que nesses métodos se utilizam fórmulas diferenciadas num mesmo custo.

O Banco Mundial por meio do Departamento de Transportes, em 1987 publicou o *Highway Design and Maintenance Standards Model* (HDM-III). Essa metodologia contempla o cálculo do custo operacional de veículos automotores leves e pesados, com informações de campo do Brasil, Quênia, Caribe e Índia. No Brasil, este estudo foi dirigido e baseado em dados da extinta Empresa Brasileira de Planejamento e Transporte (EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES, 1981) e de pesquisas realizadas por Chester e Harrison, 1987 e Watanatada et al., 1987.

Para Machado (1989) existem muitas técnicas de estimativa de custo operacional, mas nenhuma delas é perfeita. Freitas et al. (2004) complementam ao afirmar que é complicado julgar a eficácia de determinada metodologia, devendo-se, em contrapartida, atentar para a escolha de um método condizente com o tipo de equipamento a ser utilizado.

2.3.1 Custo do transporte rodoviário da madeira

O transporte é o principal componente do sistema logístico e sua importância pode ser medida através dos indicadores de custos, faturamento e lucro. O transporte segundo Kato (2005) representa, em média, 60% dos custos logísticos.

Berger (1975) mencionando Colombelli Filho, afirma que de 25% a 55% dos custos da madeira de eucalipto posto fábrica são devidos ao custo de transporte, que em sua quase totalidade é rodoviário. Já Seixas e Widmer (1993) trabalhando com transporte rodoviário no estado de São Paulo, afirmam que o custo de transporte florestal representa para algumas empresas de 38 a 66% do custo final de aquisição posto fábrica.

Na opinião de Worrel (1959), o transporte é um importante custo a ser considerado no processamento de produtos madeireiros. A tendência é que as indústrias procurem se localizar próximo dos seus consumidores, caso os custos de transporte do produto final sejam maiores que os custos de transporte da matéria-prima madeira.

Em estudo sobre a minimização dos custos de transporte para madeira de eucalipto, Berger (1975), afirma que a distância é o fator mais importante no custo de transporte, mas também destaca outras características que podem alterar os custos, entre essas a densidade da produção. Uma das maneiras de diminuir o custo em percursos longos tem sido a utilização de veículos com maior capacidade de carga (LEITE, 1992).

Segundo Costa et al. (2003), o custo da operação de transporte florestal depende por sua vez, entre outros fatores, da distância, da existência de frete de retorno, das condições da rede viária, da construção e manutenção de estradas, das operações de carga e descarga, dos tempos de espera, do volume de carga transportada por combinação de veículo e do consumo de combustível.

Tendo em vista que o transporte da madeira é uma das atividades que mais geram custos dentro de uma empresa de base florestal, e observando-se ainda a complexidade do mesmo devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo, tais como, fatores climáticos, distâncias entre a floresta e a unidade consumidora de madeira, custos de manutenção, combustível, lubrificantes, pneumáticos, entre outros, torna-se necessária uma tomada de decisão visando a minimização dos custos (BERGER et al., 2003).

Silva et al. (2007) enfatiza que a madeira é um insumo de baixo valor específico, ou seja, o seu valor em relação à sua massa e volume é baixo. Por isso, o custo de transporte é relativamente alto. No que diz respeito à forma, a matéria-prima madeira é redonda e cônica, gerando espaços vazios no empilhamento na carroceria do caminhão (HEDERSTROM, 1975).

Para Sousa (2000) as diferenças em volume, massa e forma entre a matéria-prima madeira e os produtos finais no acondicionamento da carga, juntamente com a característica predominante de baixo valor unitário da madeira, explicam a elevada participação dos custos do transporte no custo do produto final.

2.4 Técnicas de modelagem

O uso da modelagem na análise de dados experimentais permite a discussão de hipóteses que visam à elucidação das tendências gerais do sistema estudado e para fazer comparações quantitativas (STRAŠKRABA, 1973). Os modelos se propõem descrever aspectos do comportamento do sistema real, por meio do estabelecimento de equações matemáticas, o suficiente para responder às hipóteses específicas (CHARACKLIS, 1990).

O processo de modelagem consiste na busca de um modelo, o mais simples possível, que descreva bem os dados observados. Durante esse processo considera-se, na maioria dos casos, que o comportamento da variável resposta pode ser representado por dois componentes: um componente sistemático e um aleatório (KOTZ e JOHNSON, 1983; LAMBERT, 1992).

As metodologias para modelagem de dados na forma de proporções e de contagem foram propostas antes da década de 70 (FINNEY, 1947; GRIZZLE et al., 1969), sendo que a unificação do procedimento de modelagem foi proposta por Nelder e Wedderburn (1972), sob o nome de Modelos Lineares Generalizados.

2.4.1 Modelos Lineares Generalizados

Nelder e Wedderburn (1972) propuseram o uso de modelo linear generalizado, pressupondo-se que a distribuição da variável aleatória (\mathbf{Y}) pertença à Família Exponencial. Esses autores demonstraram que uma série de problemas estatísticos, podem ser formulados como modelos de regressão envolvendo uma variável resposta univariada, variáveis explanatórias e uma amostra aleatória de n observações.

A classe de Modelo Linear Generalizado (MLG) é uma extensão dos Modelos Lineares Clássicos, $\mathbf{Y} = \mathbf{Z}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}$, onde \mathbf{Z} é uma matriz de dimensão $n \times p$ de especificação do modelo, em geral a matriz de covariáveis \mathbf{X} com um primeiro vetor unitário, associada a um vetor $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_p)^T$ de parâmetros, e $\boldsymbol{\varepsilon}$ é um vector de erros aleatórios com distribuição que se supõe $N_n(0, \sigma^2 \mathbf{I})$.

Para Lee e Nelder (1998) esta classe de modelos é definida por um conjunto de variáveis independentes que descreve a estrutura linear do modelo e uma função de ligação entre a média da variável dependente e a estrutura linear. Uma importante característica dos MLG é a suposição de independência, ou pelo menos de não correlação, entre as observações. Contudo, existem extensões de MLG para dados correlacionados (LIANG; ZEGGER, 1986).

Segundo McCullagh e Nelder (1989) um MLG é composto por três componentes: Componente aleatório com variáveis respostas aleatórias Y_1, \dots, Y_n , procedentes de uma de uma distribuição de probabilidades membro de uma Família Exponencial na forma canônica; Componente sistemático $\boldsymbol{\eta} = \mathbf{X}^t \boldsymbol{\beta}$ (preditor linear) e Função de ligação $g(\boldsymbol{\mu}) = \boldsymbol{\eta}$, em que \mathbf{X} é a matriz $n \times p$ do planejamento, $\boldsymbol{\beta}$ é o vetor p -dimensional de parâmetros e $\boldsymbol{\mu} = E(\mathbf{Y})$.

Para Demétrio (2001) a estimação dos parâmetros pode ser feita pelo método de máxima verossimilhança, considerando uma variável aleatória Y_i com observações $y^T = y_1, y_2, \dots, y_n$ de uma distribuição pertencente à Família Exponencial. O conceito de Família Exponencial foi introduzido na estatística por Fisher (1922). Algumas distribuições de probabilidade conhecidas pertencem à Família Exponencial (Tabela 2), como por exemplo, a

distribuição normal, Poisson, binomial, gama e normal inversa, as quais podem ser escritas na forma canônica e apresentar um parâmetro θ .

Tabela 2. Identificadores das principais distribuições pertencentes à Família Exponencial.

Distribuição	$b(\theta)$	θ	ϕ	$V(\mu)$
Normal	$\frac{\theta^2}{2}$	μ	σ^{-2}	1
Poisson	e^θ	$\log \mu$	1	μ
Binomial	$\log(1 + e^\theta)$	$\log\left\{\frac{\mu}{(1-\mu)}\right\}$	n	$\mu(1 - \mu)$
Gama	$-\log(-\theta)$	$\log(\mu)$	$\frac{1}{(CV)^2}$	μ^2
Normal Inversa	$-\sqrt{-2\theta}$	$\frac{-1}{2\mu^2}$	ϕ	μ^3

Fonte: Paula (2004) adaptado.

2.4.2 Análise do desvio residual

A escolha de um modelo adequado está diretamente relacionada a análise de diagnóstico, ou análise dos resíduos. Vários autores como Cox e Snell (1968), McCullagh e Nelder (1989), Ortega et al. (2003) abordam o ajuste de um modelo com valores estimados a um conjunto de dados observados.

Um critério adequado para avaliar a qualidade do ajuste dos MLG é o *Deviance Information Criterion*. A análise do desvio residual (*deviance* residual) é amplamente utilizada para comparar modelos com diferentes níveis de complexidade (SPIEGELHALTER et al., 2002). Conforme Nelder e Wedderburn (1972) apud Barbosa (2010) a função desvio (*deviance* residual) avalia a qualidade do ajuste de um MLG, ou seja, mede a discrepância entre o valor observado na amostra e aquele predito pelo modelo estimado. Essa expressão é dada pela Equação 1.

$$D(\hat{\mu}_i, y_i) = -2 \sum_{i=1}^n \{l(\hat{\mu}_i, y_i) - l(y_i, y_i)\} \quad (1)$$

sendo $l(\hat{\mu}_i, y_1)$ o valor do logaritmo da função de verossimilhança do modelo sob pesquisa e $l(y_1, y_1)$ o valor do logaritmo da função de verossimilhança do modelo saturado, que é o modelo para o qual os valores ajustados $\hat{\mu}_i$ são iguais às respostas observadas y_i , ou seja, o modelo mais completo possível.

Para Sant'Anna e Caten (2010) a análise do resíduo *deviance* é a mais recomendada quando se realiza a análise gráfica de diagnóstico, pois estes resíduos são os que mais se aproximam da distribuição de probabilidade Normal na verificação da adequação ao papel de probabilidade e aleatoriedade dos resíduos. Para Kato et al. (2009) o modelo que apresentar o menor desvio é considerado aquele que melhor se ajusta aos dados.

Portanto, para um modelo bem ajustado, espera-se que o desvio residual esteja próximo do número de graus de liberdade do resíduo do modelo. Uma maneira de obter um desvio residual próximo do número de graus de liberdade é aumentar o número de parâmetros no modelo, mas com isso, aumenta-se também a complexidade na interpretação. O ideal é encontrar modelos simples com desvio residual moderado, situados entre os modelos mais complicados e os que se ajustam mal aos dados (BORGATTO, 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Este estudo avalia e analisa o frete da madeira, provenientes de povoamentos de *Eucalyptus* spp, implantados por uma subsidiária de uma empresa do segmento de celulose branqueada de fibra curta de eucalipto. O parque industrial onde se processa essa matéria-prima está localizado no Estado de Rio Negro, na República Oriental do Uruguai. A capacidade de produção total do referido parque é de 1,1 milhões de toneladas, destinadas na totalidade à exportação para a Ásia e Europa. O dispêndio de madeira por ano é de 3,6 milhões de metros cúbicos, originária de aproximadamente 25% da área plantada com *Eucalyptus* spp no País.

Os povoamentos florestais que compõem o estudo estão localizados nas regiões Oeste, Norte e Centro-Oeste do Uruguai (Figura 2), entre os meridianos de número 55 e 58 de longitude Oeste, em relação ao meridiano de Greenwich. As rodovias utilizadas para o transporte da madeira possuem predominância de geometria plana e com pavimentação asfáltica, em boas condições de conservação e abrangidas em sua maioria com pistas de rodagem simples.

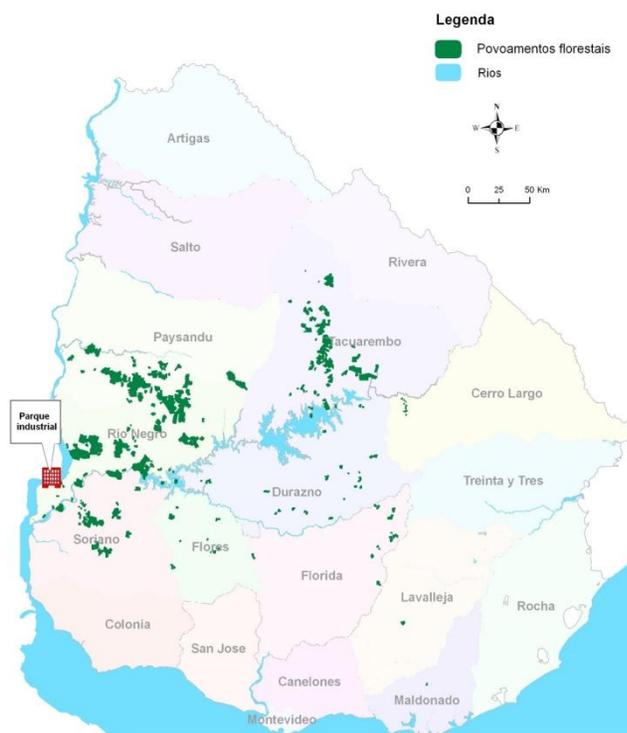


Figura 2. Localização dos povoaamentos florestais no Uruguai que originaram a madeira transportada durante o estudo.

3.1.1 Fluxo do transporte rodoviário da madeira

As principais informações referentes ao fluxo do transporte foram fornecidas pela empresa onde se desenvolveu o estudo, a partir das viagens realizadas em um período de 35 meses. Durante esse período, a precipitação (chuva) média anual foi de 819 mm. Foi transportado 1,5 milhão de metros cúbicos de madeira sem casca, 15,5% da madeira colhida no período, procedentes de 41 povoaamentos florestais, com diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*, idades, índices de sítio e localização geográfica, sendo esses povoaamentos florestais agrupados em 6 fazendas consolidadas (Tabela 3). Os comprimentos das toras transportadas foram de 4,8m e 7,2m, as quais foram alocadas nas CVC em 3 e 2 feixes respectivamente, no sentido longitudinal e apoiados em escoras laterais metálicas.

Tabela 3. Características dos povoamentos florestais por região de estudo no Uruguai.

Região	Fazenda consolidada	Densidade média da madeira (g cm ⁻³)	Madeira transportada (t)	Número de viagens	Distâncias médias (km)	
					Estrada com pavimento	Estrada sem pavimento
Oeste	Bichadero	0,83	230.714,30	7.609	67,58	6,36
	El Tabare	0,80	221.904,95	7.238	65,26	7,60
	Viraroes	0,83	176.836,25	5.726	73,72	11,14
	Rivermol	0,82	196.272,67	6.189	135,52	6,48
Norte	Baguales	0,87	93.174,82	2.994	407,61	14,07
Centro-Oeste	Arevalo	0,76	195.362,11	6.641	443,01	60,00
	Euskar	0,96	108.831,80	3.508	404,80	5,20

Fonte: dados do estudo.

3.1.2 CVC utilizadas no transporte rodoviário da madeira

Toda a movimentação da madeira foi realizada por 6 empresas transportadoras que prestam serviços terceirizados. Para se proceder às prognoses, foram consideradas 3 caracterizações de CVC, comumente utilizadas no Uruguai, descritas a seguir:

Caminhão trucado +reboque (C12-R11)

Caminhão trucado com um eixo simples e um conjunto de eixos em *tandem* duplo e, um reboque com dois eixos duplos, com comprimento máximo de 20,00m, apresentado na Figura 3, com as respectivas massas brutas máximas permitidas por eixo.

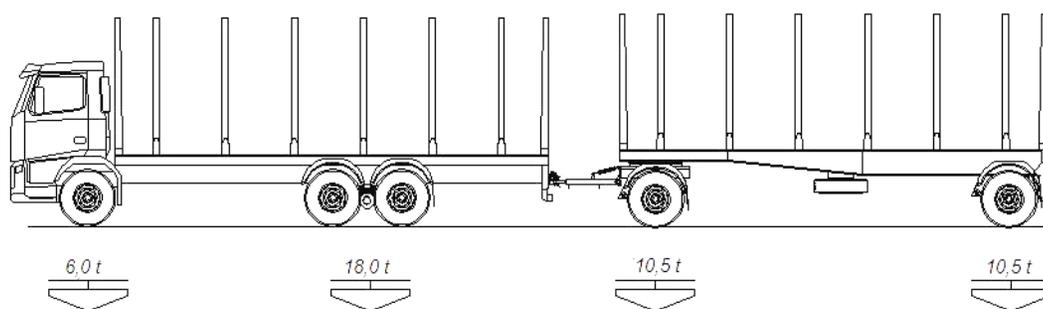


Figura 3. CVC C12-R11 utilizada no transporte rodoviário da madeira no Uruguai.

²Lençóis Tecnologias Rodoviárias (2009) adaptado.

Caminhão trator trucado + semi reboque (T12-S2)

Caminhão trator trucado com um eixo simples e um conjunto de eixos em *tandem* duplo e, um semi reboque com conjunto de eixos duplo com distância maior a 2,40m entre eles, com comprimento máximo de 18,60m, demonstrado com as respectivas distribuições de massa por eixo na Figura 4.

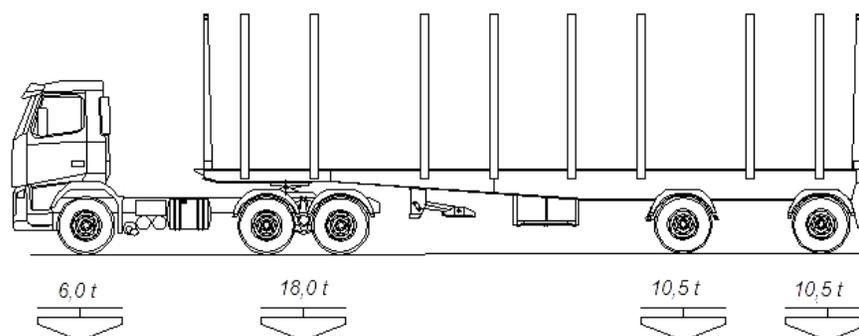


Figura 4. CVC T12-S2 utilizada no transporte rodoviário da madeira no Uruguai.

²Fonte: Lençóis Tecnologias Rodoviárias (2009) adaptado.

Caminhão trator trucado + semi reboque (T12-S3)

Caminhão trator trucado com um eixo simples e um conjunto de eixos em *tandem* duplo e um semi reboque com conjunto de eixos em *tandem* triplo com distância maior que 1,20m e menor que 2,40m entre eles e comprimento máximo de 18,60m (Figura 5).

²Imagens utilizadas nas Figuras 3 e 4 com o consentimento da Lençóis Tecnologias Rodoviária, de acordo com a Legislação Brasileira - Lei Nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

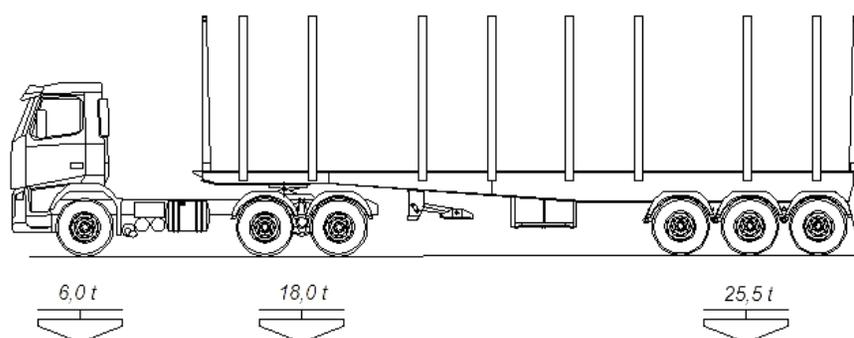


Figura 5. CVC T12-S3 utilizada no transporte rodoviário da madeira no Uruguai.

³Fonte: Lençóis Tecnologias Rodoviárias (2009) adaptado.

Foram analisadas 88 CVC, com idade média de 2,94 anos, de diferentes marcas e modelos (Tabela 4), assegurando a relação mínima de 4,5HP por tonelada e os limites de massa conforme estabelece o MTOP (2009).

Tabela 4. Marcas e modelos das CVC utilizadas no transporte rodoviário da madeira no Uruguai.

Caracterização da CVC	Marca	Modelo	Potência (HP)	Torque (kgf m)
C12-R11	Volkswagen	24310 - Worker	310	130
C12-R11	Volvo	FH400	400	204
T12-S2	Volkswagen	24310 - Worker	310	130
T12-S2	Volvo	VM310	310	112
T12-S2	Volkswagen	23310	303	122
T12-S2	Volkswagen	25320 - Constellation	320	131
T12-S2	Scania	P 340 LA6x2NA	340	163
T12-S2	Volvo	FH400	400	204
T12-S2	Renault	370 Dxi11	370	177
T12-S3	Mercedes-Benz	1728	279	112

³Imagem utilizada na Figura 5 com o consentimento da Lençóis Tecnologias Rodoviária, de acordo com a Legislação Brasileira - Lei Nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

3.2 Métodos

3.2.1 Estudo de tempos e movimentos

O estudo de tempos e movimentos é a parte primordial na composição estrutural de uma organização. Portanto, para a condição deste estudo, foram identificadas as atividades parciais que integram a operação de transporte rodoviário da madeira e estabelecidos os respectivos ciclos operacionais. Para isso foi empregado o método de tempo contínuo, definido por Simões et al., (2010) como medição do tempo sem a detenção do cronômetro.

3.2.2 Estimativa do custo operacional das CVC

Em virtude da necessidade de estimar o custo operacional das CVC empregadas no transporte florestal com maior proximidade do custo real, há a necessidade de contemplar e detalhar itens que não são abordados pelas metodologias convencionais comumente utilizadas pelo setor florestal, possibilitando dessa forma, condições mais favoráveis para a negociação do frete da madeira. Entretanto essa estimativa é complexa e pode ser influenciada, sobretudo pela estrutura da organização, regionalização, modelo de gestão, práticas contábeis, entre outros.

Os custos operacionais das CVC foram estimados por meio do método contábil, conforme as premissas básicas descritas nos Apêndices 7.1 a 7.6. Todos os valores obtidos foram expressos em dólar comercial americano, por ser uma moeda internacional de referência. Foi utilizado o câmbio oficial do *Banco Central del Uruguay* a preço de venda (BANCO CENTRAL DEL URUGUAY, 2011), considerado como taxa de câmbio o preço da moeda estrangeira medido em unidades e frações da moeda nacional, que era de U\$ 19,366 (09/03/2011).

Os custos fixos (US\$ mês⁻¹) foram aqueles que não variaram em decorrência do aumento ou diminuição da produção da CVC, sendo esses compostos pelo custo de administração, custos de mão de obra com motorista, gerentes, mecânico e ajudante, pessoal técnico-administrativo, depreciação, garagem, inspeção técnica veicular, custo de

oportunidade e tributos de veículos automotores. Os custos variáveis (US\$ km⁻¹) modificaram-se proporcionalmente em relação ao nível da produção e da distância percorrida para realizar o transporte rodoviário da madeira. Foram considerados os custos variáveis de combustível, filtros, lavagem e lubrificação, reparos e manutenção, óleo lubrificante, oficina própria, pedágio e pneumáticos.

3.2.2.1 Custos fixos

3.2.2.1.1 Custo de administração

O custo de administração é relativo às despesas gerais, como tarifas públicas, material de escritório, telecomunicações, entre outros. Devido ser um custo que característico de cada empresa transportadora, recomenda-se aplicar um índice de administração em conformidade à estrutura organizacional (Equação 2).

$$CAD = \frac{V_i I_a}{n} \quad (2)$$

onde,

CAD – custo de administração (US\$ mês⁻¹);

V_i – valor inicial da CVC (US\$);

I_a – índice de administração (%);

n – período de 12 meses.

3.2.2.1.2 Depreciação

A depreciação estima a perda de valor no decorrer da vida útil do bem. A estimativa da depreciação é um procedimento utilizado para recuperar o investimento inicial da CVC, à medida que ela se torna obsoleta. Foi utilizado o método da depreciação linear, pois se considerou que os recursos financeiros correspondentes ficam no caixa da empresa com remuneração zero (Equação 3). Deve-se considerar o valor da CVC sem os valores de pneumáticos, pois esses constituem como material de consumo.

$$D = \frac{V_{isp} - V_f}{V_u} \quad (3)$$

onde,

D – depreciação (US\$ mês⁻¹);

V_{isp} – valor inicial da CVC sem o valor dos pneumáticos (US\$);

V_f – valor final da CVC (US\$);

V_u – vida útil econômica da CVC (meses).

3.2.2.1.3 Custo de garagem

O custo de garagem é item que deve ser considerado, em função do local de armazenamento ou até mesmo do local necessário para a realização de reparos e manutenção requerida pela CVC (Equação 4). Para se calcular este item, é utilizado um índice pré-estabelecido pela empresa, o qual varia de acordo com a estrutura organizacional.

$$CG = \frac{V_i I_g}{n} \quad (4)$$

onde,

CG - custo de garagem (US\$ mês⁻¹);

V_i – valor inicial da CVC (US\$);

I_g – índice de garagem (%);

n – período de 12 meses.

3.2.2.1.4 Custo de inspeção técnica veicular

Para estimar o custo da inspeção técnica veicular deve ser ponderado o valor pago referente à vistoria do tacógrafo e do conjunto de itens que possibilitam uma melhor dirigibilidade da CVC, fomentando maior segurança viária e também um menor impacto ambiental, sobretudo por meio do controle da emissão do dióxido de carbono (Equação 5).

$$ITV = \frac{V_{it}}{n} \quad (5)$$

onde,

ITV – custo de inspeção técnica veicular (US\$ mês⁻¹);

V_{it} – valor da inspeção técnica veicular (US\$);

n – período de 12 meses.

3.2.2.1.5 Custo de oportunidade

O custo de oportunidade incide somente sobre o capital inicial e são calculados aplicando-se ao capital empregado uma taxa que indica a remuneração desse capital em outras possibilidades pelas quais se pode optar durante um período (Equação 6).

$$CO = \left(\frac{V_{isp} + V_f}{2 n} \right) r \quad (6)$$

onde,

CO – custo de oportunidade (US\$ mês⁻¹);

V_{isp} – valor inicial da CVC sem o valor dos pneumáticos (US\$);

V_f – valor final da CVC (US\$);

r – taxa anual de juros reais simples (%);

n – período de 12 meses.

3.2.2.1.6 Custos de mão-de-obra

O funcionamento adequado de uma empresa depende principalmente da consecução dos funcionários envolvidos. Assim sendo, para dimensionar a quantidade de motoristas, mecânicos e ajudantes, gerentes e de pessoal técnico-administrativo, tomou-se em consideração o praticado pelas empresas transportadoras envolvidas neste estudo, estabelecendo como referência uma frota de 10 CVC.

Para estimar os custos de mão-de-obra é necessário considerar as incidências sociais de acordo com a respectiva função, como por exemplo, provisões de férias, décimo terceiro salário, contribuições sindicais, descanso semanal, entre outros.

3.2.2.1.6.1 Custos de mão-de-obra com motoristas

Ao realizar a estimativa dos custos de mão-de-obra dos motoristas, devem ser considerados a quantidade de motoristas necessários por CVC (Equação 7).

$$CMO = (S_{mo} + E_{so}) q \quad (7)$$

onde,

CMO – custos com motoristas (US\$ mês⁻¹);

S_{mo} – salário e benefícios dos motoristas (US\$ mês⁻¹);

E_{so} – encargos sociais e trabalhistas (US\$ mês⁻¹);

q – quantidade de motoristas.

3.2.2.1.6.2 Custo de mão-de-obra com mecânicos e ajudantes

O cálculo do custo de mão-de-obra com mecânicos e ajudantes, é proporcional à quantidade de CVC atendidas por esses profissionais. Essa quantidade é característica de cada empresa transportadora, determinada principalmente em função das condições de uso da frota e do nível de manutenção desejado, a qual pode ser constituída por preditiva, preventiva ou somente a corretiva (Equação 8).

$$CMA = (S_{mo} + E_{so}) q \quad (8)$$

onde,

CMA – custos com mecânicos e ajudantes (US\$ mês⁻¹);

S_{mo} – salário e benefícios dos mecânicos e ajudantes (US\$ mês⁻¹);

E_{so} – encargos sociais e trabalhistas (US\$ mês⁻¹);

q – quantidade de mecânicos e ajudantes.

3.2.2.1.6.3 Custos de mão-de-obra com gerentes

Para garantir uma administração de bons resultados, de acordo com as especificações e padrões estabelecidos pela empresa transportadora, é imprescindível um profissional responsável pelas áreas comercial, de planejamento, administrativo e financeiro,

sendo a quantidade requerida, de acordo com as necessidades e estrutura de cada empresa transportadora (Equação 9).

$$CMG = (S_{mg} + E_{so}) q \quad (9)$$

onde,

CMG – custos com gerentes (US\$ mês⁻¹);

S_{mg} – salário e benefícios dos gerentes (US\$ mês⁻¹);

E_{so} – encargos sociais e trabalhistas (US\$ mês⁻¹);

q – quantidade de gerentes.

3.2.2.1.6.4 Custos de mão-de-obra com pessoal técnico-administrativo

Esses custos referem-se às pessoas envolvidas nas atividades de apoio, administrativas e técnicas, necessárias para atender a demanda da empresa transportadora (Equação 10).

$$CPA = (S_{ma} + E_{so}) q \quad (10)$$

onde,

CPA – custos com pessoal técnico-administrativo (US\$ mês⁻¹);

S_{ma} – salário e benefícios do pessoal técnico-administrativo (US\$ mês⁻¹);

E_{so} – encargos sociais e trabalhistas (US\$ mês⁻¹);

q – quantidade de pessoas.

3.2.2.1.7 Impostos de veículos automotores

No Uruguai os impostos para veículos automotores correspondem à *Patente de Rodados*, a *Póliza de Seguro Obligatorio* e ao *Permiso Nacional de Circulación Profesional*, pagos anualmente (Equação 11).

$$TVA = \frac{V_{pr} + V_{pso} + V_{pnpcp}}{n} \quad (11)$$

onde,

TVA – tributos de veículos automotores (US\$ mês⁻¹);

V_{pr} – valor da *Patente de Rodados* (US\$);

V_{pso} – valor da *Póliza de Seguro Obligatorio* (US\$);

V_{pncp} – valor do *Permiso Nacional de Circulación Profesional* (US\$);

n – período de 12 meses.

3.2.2.2 Custos variáveis

3.2.2.2.1 Custo de combustível

O custo de combustível (Equação 12) foi calculado em função do consumo médio por hora do motor de todas as CVC que compuseram o estudo, sendo este determinado pela potência bruta (HP), tipo de combustível, capacidade operacional, operação desenvolvida, entre outras.

$$CC = \frac{V}{C} \quad (12)$$

onde,

CC – custo de combustível (US\$ km⁻¹);

V – valor do óleo diesel (US\$ L⁻¹);

C – consumo do combustível (km L⁻¹).

3.2.2.2.2 Custo de filtros

Os filtros utilizados pelos caminhões possuem vida útil e valores de aquisição distintos e, variam de acordo com a marca e modelo da CVC. Assim sendo devido à demanda de grande quantidade de trabalho para obter os custos dos filtros de ar interno, ar externo, combustível, separador de água, arrefecimento, direção hidráulica, entre outros, foi estipulado para o custo de filtros (Equação 13) o índice de 1% dos custos com combustíveis. Esse percentual foi adotado após a obtenção dos valores de mercado dos filtros utilizados pelas CVC em estudo, considerando que as substituições ocorrem a cada 20.000km.

$$CF = I_{cc} CC \quad (13)$$

onde,

CF – custos de filtros (US\$ km⁻¹);

I_{cc} – índice do custo de combustível (%);

CC – custo de combustível (US\$ km⁻¹).

3.2.2.2.3 Custo de lavagem e lubrificação

O processo de lavagem e lubrificação da CVC é característico de cada empresa transportadora, sendo esse principalmente em função dos produtos utilizados. Para estimar esse custo deve ser ponderado o custo da água, dos produtos químicos e da graxa lubrificante, de acordo com as respectivas quantidades consumidas (Equação 14).

$$CLA = \frac{N_l \left(V_{H_2O} Q_{H_2O} + V_{pq1} Q_{pq1} + V_{pq2} Q_{pq2} + V_{gl} Q_{gl} \right)}{il} \quad (14)$$

onde,

CLA – custo de lavagem da CVC (US\$ km⁻¹);

N_l – número de lavagens realizadas a cada intervalo;

V_{H_2O} – valor da água (US\$ L⁻¹);

Q_{H_2O} – quantidade da água (L);

V_{pq1} – valor do removedor de graxa (US\$ L⁻¹);

Q_{pq1} – quantidade do removedor de graxa (L);

V_{pq2} – valor do sabão líquido (US\$ L⁻¹);

Q_{pq2} – quantidade do sabão líquido (L);

V_{gl} – valor da graxa lubrificante (US\$ L⁻¹);

Q_{gl} – quantidade da graxa lubrificante (L);

il – intervalo das lavagens (km).

3.2.2.2.4 Custo de reparos e manutenção

Ao estimar o custo de reparos e manutenção (Equação 15) admitiu-se como premissa somente os custos dos materiais e peças substituídos devido ao uso da CVC em condições normais ou em consequência de desgastes, acidentes ou deterioração. Para a realização da estimativa foi adotado o coeficiente de 0,9 em conformidade ao Manual de

Custos de Infra-estrutura de Transportes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2008), considerando o valor da CVC sem o valor dos pneumáticos.

$$CRM = \frac{V_{isp} k}{V_u} \quad (15)$$

onde,

CRM – custos de reparos e manutenção (US\$ km⁻¹);

V_{isp} – valor inicial da CVC sem o valor dos pneumáticos (US\$);

k – coeficiente de reparos e manutenção;

V_u – vida útil econômica da CVC (km).

3.2.2.2.5 Custo de óleo lubrificante

Para estimar o custo de óleo lubrificante (Equação 16), primeiramente faz-se necessário identificar os volumes de óleo do cárter, da caixa de câmbio, do eixo motriz, da direção e do sistema de arrefecimento, os quais variam de acordo com cada marca e modelo de CVC. Em seguida deve ser determinado o limite de quilometragem para cada óleo lubrificante.

$$COL = \frac{V_{car} (Q_1 + Q_2)}{km_1} + \sum_{i=2}^5 \frac{V_{oi} Q_{oi}}{km_2} \quad (16)$$

onde,

COL – custo de óleo lubrificante (US\$ km⁻¹);

V_{car} – valor do óleo de cárter (US\$ L⁻¹);

Q₁ – quantidade do óleo de cárter (L);

Q₂ – quantidade do óleo de cárter antes da próxima troca (L);

km₁ – limite de quilometragem do óleo de cárter (km);

Q_{oi} – quantidade do óleo do câmbio/eixo motriz/direção/sistema de arrefecimento (L);

V_{oi} – valor do óleo do câmbio/eixo motriz/direção/sistema de arrefecimento (US\$ L⁻¹);

km₂ – limite de quilometragem do óleo do câmbio/eixo motriz/direção/sistema de arrefecimento (km).

3.2.2.2.6 Custo de oficina própria

A fim de minimizar os custos operacionais, muitas empresas transportadoras possuem oficina própria para realizar a manutenção das CVC. Por conseguinte, há um custo para manter as instalações, máquinas e equipamentos (Equação 17). Para calcular esse custo deve se partir do pressuposto de que a oficina esteja em condições ideais para o cumprimento das manutenções, para que não resulte em um cálculo superestimado ou até mesmo subestimado. O índice de oficina varia em consonância à estrutura da empresa transportadora, dos preços locais e regionais.

$$COP = \frac{V_{isp} I_{pm}}{Q_{an}} \quad (17)$$

onde,

COP – custo de oficina própria (US\$ km⁻¹);

V_{isp} – valor inicial da CVC sem o valor dos pneumáticos (US\$);

I_{pm} – índice de oficina (%);

Q_{an} – quilometragem anual (km).

3.2.2.2.7 Custo de pedágio

Os custos com pedágios são calculados de acordo com a distância percorrida, desde o povoamento florestal até o local da descarga da madeira (Equação 18).

$$CP = \frac{V_p}{P} \quad (18)$$

onde,

CP – custo de pedágio (US\$ km⁻¹);

V_p – valor do pedágio no percurso (US\$);

P – percurso (km).

3.2.2.2.8 Custo de pneumáticos

O custo de pneumáticos é calculado a partir do somatório dos valores de pneumáticos para eixos de tração e de eixos direcionais, das câmaras de ar com os respectivos protetores, considerando a vida útil em quilômetros percorridos, incluso o número de pneumáticos sobressalentes e recapagens (Equação 19). Em decorrência da avaria dos pneumáticos e conseqüentemente da necessidade de substituição, recomenda-se aplicar um índice que varia de acordo com as condições de trafegabilidade da CVC e de cada empresa.

$$CP = \frac{[V_{tr} n_1 + V_{di} n_2 + V_{cp} (n_1 + n_2)] I_a + (V_{rr} n_1 + V_{vrdi} n_2) N}{v} \quad (19)$$

onde,

CP – custo de pneumáticos (US\$ km⁻¹);

V_{tr} – valor do pneumático para eixo de tração (US\$);

V_{di} – valor do pneumático para eixo direcional (US\$);

V_{cp} – valor da câmara de ar e protetor (US\$);

V_{rr} – valor da recapagem do pneumático para eixo de tração (US\$);

V_{vrdi} – valor da recapagem do pneumático para eixo direcional (US\$);

n₁ – quantidade de pneumáticos para eixo de tração;

n₂ – quantidade de pneumáticos para eixo direcional;

N – número de recapagem;

I_a – índice de avaria (%);

v – vida útil dos pneumáticos com recapagem (km).

3.2.3 Frete rodoviário da madeira

A estimativa do frete rodoviário da madeira deve ser baseada além dos custos operacionais, na margem de ganho, deduções de impostos, contabilização dos tributos e contribuições sociais. Foram considerados os tributos e contribuições básicas vigentes no Uruguai descritos nos Apêndices 7.2 e 7.3. Em relação ao IVA (*Impuesto al Valor Agregado*) de acordo com a *Dirección General Impositiva* (2008) descrito no Artigo 28° do Decreto

220/998 de 12 de agosto de 1998, a empresa onde desenvolveu-se o estudo está isenta, devido ao parque industrial estar localizado em Zona Franca do território nacional.

Dado ao fato do transporte rodoviário da madeira ser considerado uma operação cíclica, ou seja, incide sobre atividades parciais que retornam a uma condição inicial, o frete da madeira foi estimado ponderando a distância de ida e retorno ao povoamento florestal.

3.2.4 Análises estatísticas

Montgomery (1997) salienta que todas as variáveis que podem ser importantes e que não foram identificadas no passado devem ser pesquisadas. Portanto, em decorrência do conjunto de dados resultarem de um experimento não controlado, foram investigadas inicialmente as principais covariáveis exógenas ao custo operacional das CVC, sendo essas relacionadas diretamente ao desempenho e à eficiência operacional da operação de transporte rodoviário da madeira.

Deste modo, para identificar as covariáveis que possam explicar o frete da madeira no Uruguai, foram investigadas as seguintes covariáveis: classificação das estradas florestais e vicinais; tempo de carga; tempo de descarga; tempo de fila para carga; tempo de viagem da CVC com carga; tempo de viagem da CVC sem carga; tempo total da operação; distância entre o povoamento florestal e o parque industrial; precipitação (chuva). Entretanto, para o ajuste do modelo, foram consideradas somente as covariáveis que não apresentavam multicolinearidade. Assim sendo, para explicar os modelos propostos, admitiram-se somente as covariáveis que apresentaram correlação inferior a 50%.

O ajuste do modelo foi realizado em três fases. Na primeira foram selecionadas, por meio de uma análise descritiva e gráfica, as principais covariáveis que comprometem o frete da madeira. Na segunda fase ajustou-se um MLG para a variável investigada (frete da madeira no Uruguai). Na última fase foram retiradas dos modelos as covariáveis que apresentaram valor-p do teste de Wald (W) superiores a 0,05 ($p > 0,05$).

Para estimar o frete da madeira no Uruguai (US\$ km⁻¹) de acordo com a fazenda consolidada, associando-se às covariáveis explicativas, foi utilizada a metodologia descrita por Migon e Gamerman (1999) como modelo linear ou modelo linear de regressão.

Este conceito tem como propósito analisar a influência de covariáveis em uma determinada variável Y por meio de uma relação linear. Dessa forma o objetivo é estudar Y de forma condicional aos valores de $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_p)$, onde: $E(Y|\mathbf{X}) = \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p$.

As análises estatísticas foram realizadas por meio do sistema SAS 9.2 (*Statistical Analyses System*, 2010), com o procedimento *Genmod* com distribuição gama e uma função de ligação logarítmica. Conforme o proposto por McCullagh e Nelder (1989) por se tratar de uma grande amostra, a qualidade do ajuste foi medida pela *deviance* residual por grau de liberdade, que mede a discrepância entre os valores observados e os ajustados, assim sendo, a *deviance* residual com valores próximo a 1, indicou uma boa qualidade de ajuste. O tipo de modelagem adotado está baseado no conceito MLG proposto por Nelder e Wedderburn (1972).

Para detectar o efeito dos tempos das atividades parciais que compõem o ciclo operacional do transporte, as velocidades médias das CVC, ciclos operacionais e os custos, os dados foram submetidos à análise de variância segundo o delineamento inteiramente casualizado. Para os efeitos significativos, foram realizados testes de comparação de múltiplas, pelo teste *LSmeans*, por meio do procedimento *LSmeans* do SAS, a 5% de probabilidade.

Realizou-se a interpolação por meio de uma função suavizadora *spline* cúbica para a obtenção do mapa de isolinhas, o qual apresenta o frete da madeira para os locais não amostrados. A suavização por *splines* (*smoothing splines*) teve origem com Whittaker (1923), porém foi Schoenberg (1964) que, empregando os métodos desenvolvidos por Whittaker, obteve um estimador de suavização por *splines* (DIAS, 2001). A suavização foi efetuada utilizando-se as coordenadas (x,y) do Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator - UTM, dos 41 povoamentos florestais que compuseram o estudo. Para este procedimento foi utilizado as funções baseadas em *Thin-Plate Splines* do SAS.

4 RESULTADOS

4.1 Análise operacional do transporte rodoviário da madeira

A análise dos ciclos operacionais do transporte rodoviário da madeira é um fator determinístico na composição do frete da madeira. Assim sendo, foram abordadas todas as atividades parciais que compõem a operação, de acordo com a região, fazenda consolidada e CVC.

Para todas as atividades parciais relacionadas à região Oeste do Uruguai (Tabela 5), as discrepâncias dos valores observados da *deviance* residual ficaram próximas a 1, indicando uma boa qualidade do ajuste. Ao analisar a atividade parcial concernente ao tempo de carga para todas as fazendas consolidadas, é possível constatar que para as fazendas consolidadas Bichadero e Rivermol não houve diferenças significativas ($>0,05$) entre as CVC, entretanto para as demais fazendas consolidadas esses tempos diferiram estatisticamente. Considerando o tempo de carga entre as fazendas consolidadas, foi constatado que existem diferenças estatísticas para essa atividade. Esse fato pode ser explicado em função da acomodação da madeira nas pilhas às margens das estradas florestais, espécie florestal e comprimento dos toretes, o que resultou uma variabilidade assimétrica dos tempos de acordo com a fazenda consolidada e CVC, pois os carregadores florestais possuíam características técnicas semelhantes e eram fixos para cada fazenda consolidada.

Para a atividade parcial referente ao tempo de descarga, no pátio da madeira do parque industrial, foram considerados os tempos despendidos para a obtenção da

massa bruta total combinada e da massa líquida das CVC, do descarregamento e da remoção dos resíduos de madeira que permaneceram sob as unidades de carga das CVC, sendo esse último o principal agente causador da variação dos tempos, devido à execução da tarefa ser influenciada pela quantidade desses resíduos. A quantidade de resíduos de madeira está condicionada à espécie florestal e à quantidade de dias que a madeira permaneceu no campo após a colheita.

O percentual médio para as atividades parciais de tempo de carga e tempo de descarga na região Oeste representou aproximadamente 17% do tempo total da operação do transporte rodoviário da madeira. Ao considerar que as fazendas consolidadas estão localizadas relativamente próximas ao parque industrial, em média 90km, os tempos para essas atividades parciais, se tornam grandes fatores de influência no valor do frete da madeira. Segundo o descrito pela Food and Agriculture Organization (1974) essas atividades têm uma relação direta na produtividade e em curtas distâncias podem constituir um ponto crítico para a atividade de transporte como um todo.

Quando considerado o dispêndio de tempo de fila para a carga, observa-se que ocorreram diferenças significativas ($<0,001$) entre as CVC somente para a fazenda consolidada El Tabare. Essa atividade pode ser considerada como um tempo improdutivo, que compromete fortemente a composição do ciclo operacional. O maior problema detectado foi para a fazenda consolidada Bichadero que despendeu o maior tempo improdutivo, ou seja, de fila para a carga.

Os tempos de viagens da CVC com carga e sem carga, foram proporcionais às distâncias. Portanto com o aumento da distância entre o povoamento florestal e o parque industrial houve um maior tempo necessário para o deslocamento, sendo que somente para a fazenda consolidada Bichadero os tempos não diferiram estatisticamente ($>0,05$) entre as CVC.

Tabela 5. Média e desvio padrão dos tempos, em minutos, das atividades parciais do transporte rodoviário da madeira na região Oeste do Uruguai.

Fazenda consolidada	CVC	Atividades parciais					
		1	2	3	4	5	6
Bichadero	C12-R11	15,38 aB	49,09 aD	100,65 aA	107,40 aG	96,66 aG	369,17 aF
		(6,30)	(17,25)	(50,51)	(18,73)	(16,85)	(69,63)
	T12-S2	15,41 aC	48,53 aD	99,68 aA	110,51 aF	99,46 aAF	373,59 aF
		(5,66)	(18,06)	(48,50)	(18,73)	(48,50)	(65,76)
	T12-S3	15,50 aBC	47,12 aD	104,17 aA	110,02 aFG	99,02 aFG	375,83 aF
		(5,83)	(16,06)	(51,67)	(17,36)	(15,63)	(69,09)
El Tabare	C12-R11	14,57 cC	51,91 aBC	83,36 cC	80,66 bI	72,59 bI	303,09 aH
		(5,38)	(17,85)	(41,05)	(19,84)	(17,85)	(55,82)
	T12-S2	15,44 bC	50,95 aBC	87,56 bC	83,41 aH	75,07 aH	312,43 bG
		(6,12)	(19,11)	(43,22)	(20,30)	(18,27)	(64,16)
	T12-S3	16,59 aA	50,09 aC	96,10 aAB	82,34 abHI	74,11 abHI	319,23 cG
		(6,06)	(18,96)	(49,98)	(21,51)	(19,36)	(69,79)
Viraroes	C12-R11	15,26 cB	50,68 bC	88,77 aC	129,34 cE	116,40 cE	400,46 cE
		(4,61)	(18,11)	(48,97)	(26,41)	(23,77)	(79,28)
	T12-S2	16,30 bB	51,99 bBC	87,80 aC	133,02 bD	119,72 bD	408,83 bE
		(5,64)	(20,49)	(48,33)	(26,69)	(24,02)	(78,84)
	T12-S3	17,51 aA	54,16 aAB	90,44 aC	135,58 aD	122,02 aD	419,71 aD
		(5,75)	(23,45)	(45,44)	(25,11)	(22,60)	(72,60)
Rivermol	C12-R11	16,65 aA	55,19 aA	84,60 aC	194,29 aA	174,86 aA	525,58 aA
		(5,55)	(21,71)	(46,94)	(38,18)	(34,37)	(90,41)
	T12-S2	16,74 aA	55,40 aA	87,66 aC	187,56 bB	168,80 bB	516,16 bB
		(5,86)	(21,49)	(47,29)	(34,31)	(30,97)	(84,57)
	T12-S3	15,85 bA	53,92 aA	86,71 aC	181,21 cC	163,09 cC	500,78 cC
		(4,25)	(20,45)	(47,76)	(28,97)	(26,08)	(75,15)

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna por fazenda consolidada e letras maiúsculas na região, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste *LSmeans*, a 5% de probabilidade; valores do desvio padrão entre parênteses.

1 - tempo de carga; 2 - tempo de descarga; 3 - tempo de fila para carga; 4 - tempo de viagem da CVC com carga; 5 - tempo de viagem da CVC sem carga; 6 - tempo total da operação.

Em relação à fazenda consolidada Baguales localizada na região Norte do Uruguai (Tabela 6), os valores observados para a *deviance* residual ficaram próximos a 1, portanto houve uma boa qualidade do ajuste. Os tempos das atividades parciais diferiram a 1%

de probabilidade entre as CVC, somente para a atividade parcial referente ao tempo de viagem sem carga, sendo a T12-S3 a qual apresentou o melhor resultado. As atividades parciais de tempo de carga e tempo de descarga representaram aproximadamente 6% do tempo total da operação.

Quando analisada a atividade parcial relativa ao tempo de fila para carga com as demais fazendas consolidadas avaliadas, constata-se que esses foram superiores estatisticamente ($<0,001$), fato que provavelmente irá implicar de forma negativa nos custos operacionais das CVC e conseqüentemente no frete da madeira.

Tabela 6. Média e desvio padrão dos tempos, em minutos, das atividades parciais do transporte rodoviário da madeira na região Norte do Uruguai.

Fazenda consolidada	CVC	Atividades parciais					
		1	2	3	4	5	6
Baguales	C12-R11	20,06 a	57,08 a	153,14 a	512,44 a	461,20 a	1203,91 a
		(7,67)	(23,72)	(92,76)	(72,26)	(65,03)	(199,41)
	T12-S2	20,63 a	55,11 a	135,25 a	512,93 a	461,64 a	1185,56 a
		(7,67)	(19,21)	(76,01)	(60,21)	(54,19)	(141,74)
	T12-S3	20,86 a	57,24 a	143,65 a	494,67 a	445,20 b	1161,62 b
		(7,30)	(19,87)	(77,38)	(59,76)	(53,78)	(139,82)

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste *LSmeans*, a 5% de probabilidade; valores do desvio padrão entre parênteses.

1 - tempo de carga; 2 - tempo de descarga; 3 - tempo de fila para carga; 4 - tempo de viagem da CVC com carga; 5 - tempo de viagem da CVC sem carga; 6 - tempo total da operação.

Em relação ao transporte rodoviário da madeira realizado nas fazendas consolidadas Arevalo e Euskar (Tabela 7) localizadas na região Centro-Oeste do Uruguai, todas as atividades parciais apresentaram uma boa qualidade do ajuste, com valores da *deviance* residual próximos a 1. Foram obtidas diferenças estatísticas ($<0,001$) dos tempos das atividades parciais para as CVC e entre as fazendas consolidadas. O tempo de fila para carga durante a operação na fazenda consolidada Euskar foi o segundo maior quando comparado às demais fazendas consolidadas. As causas desse fator devem ser investigadas de forma prioritária, para que o frete da madeira, não se torne inviável economicamente para as fazendas que possuem um elevado dispêndio de tempo de fila para carga.

As atividades parciais de tempo de carga e tempo de descarga representaram aproximadamente 6% do tempo total da operação. Assim sendo constata-se que com o aumento da distância entre o povoamento florestal e o parque industrial, os tempos dessas atividades parciais, possuem uma menor participação da composição do ciclo operacional, entretanto ações que possam minimizar esses tempos devem ser rigorosamente aplicadas.

Tabela 7. Média e desvio padrão dos tempos, em minutos, das atividades parciais do transporte rodoviário da madeira na região Centro-Oeste do Uruguai.

Fazenda consolidada	CVC	Atividades parciais					
		1	2	3	4	5	6
Arevalo	C12-R11	20,68 aAB	64,29 aA	97,13 aB	729,65 aA	656,69 aA	1568,43 aA
		(8,38)	(19,49)	(58,58)	(113,32)	(101,99)	(214,23)
	T12-S2	20,48 abB	54,43 cC	84,96 cC	675,13 bB	607,62 bB	1442,62 bB
		(6,67)	(19,77)	(51,49)	(90,91)	(81,82)	(182,19)
	T12-S3	21,50 aA	57,05 bAB	90,73 bB	713,33 aA	642,00 aA	1524,62 aA
		(7,21)	(20,46)	(58,89)	(98,22)	(88,40)	(193,47)
Euskar	C12-R11	18,39 bC	50,44 bD	96,65 bB	476,23 aC	428,61 aC	1070,32 aC
		(7,26)	(17,78)	(53,63)	(98,03)	(88,22)	(190,72)
	T12-S2	20,04 aB	53,06 abD	112,55 aA	454,05 bD	408,64 bD	1048,35 abC
		(9,12)	(20,09)	(59,24)	(80,37)	(72,34)	(165,80)
	T12-S3	20,56 aAB	54,80 aBC	114,24 aA	443,86 cD	399,48 cD	1032,95 bC
		(9,25)	(20,96)	(63,99)	(71,49)	(64,34)	(148,85)

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna por fazenda consolidada e letras maiúsculas na região, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste *LSmeans*, a 5% de probabilidade; valores do desvio padrão entre parênteses.

1 - tempo de carga; 2 - tempo de descarga; 3 - tempo de fila para carga; 4 - tempo de viagem da CVC com carga; 5 - tempo de viagem da CVC sem carga; 6 - tempo total da operação.

Na Tabela 8 são apresentadas as velocidades médias com e sem carga das CVC e os ciclos operacionais para a região Centro-Oeste do Uruguai, as quais apresentaram uma boa qualidade do ajuste, com valores da *deviance* residual próximos a 1. Ao analisar a velocidade da CVC com carga e sem carga, entre as CVC e fazenda consolidada, constatam-se diferenças estatísticas (<0,001) entre elas. Os melhores desempenhos operacionais foram obtidos em viagens realizadas às fazendas consolidadas El Tabare e

Rivermol, explicado pela melhor qualidade das estradas florestais e vicinais, segundo tomadores de decisão da empresa onde foi desenvolvido o estudo.

Dessa forma a qualidade das estradas implica na velocidade da CVC e conseqüentemente impactam negativamente no número de ciclos operacionais, que por sua vez reduz a distância percorrida mensalmente, elevando os custos variáveis das CVC. Quanto aos ciclos operacionais esses diferiram estatisticamente entre as CVC nas fazendas consolidadas e entre as fazendas consolidadas (<0,001).

Tabela 8. Média e desvio padrão das velocidades e do ciclo operacional das CVC na região Oeste do Uruguai.

Fazenda consolidada	CVC	Velocidade com carga (km h ⁻¹)	Velocidade sem carga (km h ⁻¹)	Ciclo operacional (n°)
Bichadero	C12-R11	42,44 aF (6,89)	47,16 aF (7,65)	4,03 aC (0,71)
	T12-S2	41,24 bG (6,78)	45,82 bG (7,54)	3,97 bC (0,67)
	T12-S3	41,30 bG (6,83)	45,89 bG (7,59)	3,96 bC (0,73)
El Tabare	C12-R11	56,38 a A (11,08)	62,64 aA (12,31)	4,89 aA (0,82)
	T12-S2	55,23 bB (12,67)	61,37 bB (14,07)	4,79 bB (0,93)
	T12-S3	56,42 aA (14,47)	62,69 aA (16,07)	4,72 bB (1,01)
Viraroes	C12-R11	40,49 aH (7,71)	44,98 aH (8,57)	3,73 aD (0,68)
	T12-S2	39,74 bI (7,40)	44,15 bI (8,23)	3,65 bD (0,66)
	T12-S3	38,55 cI (7,32)	42,83 cI (8,13)	3,53 cE (0,63)
Rivermol	C12-R11	45,38 cE (8,07)	50,42 cE (8,96)	2,82 cG (0,47)
	T12-S2	46,82 bD (7,95)	52,03 bD (8,84)	2,86 bFG (0,45)
	T12-S3	48,23 aC (7,92)	53,59 aC (8,80)	2,94 aF (0,45)

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna por fazenda consolidada e letras maiúsculas na região, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste *LSmeans*, a 5% de probabilidade; valores do desvio padrão entre parênteses.

A qualidade do ajuste (*deviance* residual) para as velocidades das CVC e ciclos operacionais para a fazenda consolidada Baguales localizada na região Norte do Uruguai (Tabela 9), ficaram próximos a 1, ou seja, indicando uma boa qualidade. A melhor velocidade e o maior número de ciclo operacional foram obtidos com a T12-S3, que diferiu estatisticamente para a C12-R11 e T12-S2 (<0,001).

Tabela 9. Média e desvio padrão das velocidades e do ciclo operacional das CVC na região Norte do Uruguai.

Fazenda consolidada	CVC	Velocidade com carga (km h ⁻¹)	Velocidade sem carga (km h ⁻¹)	Ciclo operacional (n°)
	C12-R11	50,32 b	55,90 b	1,22 b
		(6,71)	(7,46)	(0,20)
Baguales	T12-S2	49,95 b	55,50 b	1,23 b
		(5,53)	(6,15)	(0,14)
	T12-S3	51,91 a	57,68 a	1,25 a
		(5,99)	(6,66)	(0,15)

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste *LSmeans*, a 5% de probabilidade; valores do desvio padrão entre parênteses.

Em análise a região Centro-Oeste do Uruguai a *deviance* residual ficou próxima a 1, indicando uma boa qualidade do ajuste. Quanto ao desempenho operacional, o melhor foi obtido para a fazenda consolidada Euskar, que resultou na possibilidade de maior velocidade média de deslocamento da CVC e conseqüentemente na possibilidade de realizar um maior número de ciclos operacionais (Tabela 10). Contudo existem diferenças estatísticas (<0,001) entre as CVC avaliadas, as quais podem ser decorrentes das marcas e modelos dos veículos e da massa líquida da madeira transportada.

Tabela 10. Média e desvio padrão das velocidades e do ciclo operacional das CVC na região Centro-Oeste do Uruguai.

Fazenda consolidada	CVC	Velocidade com carga (km h ⁻¹)	Velocidade sem carga (km h ⁻¹)	Ciclo operacional (n°)
Arevalo	C12-R11	43,15 bE (6,62)	47,94 bE (7,36)	0,93 bD (0,13)
	T12-S2	45,38 aD (5,68)	50,43 aD (6,31)	1,01 aC (0,12)
	T12-S3	43,38 bE (5,68)	48,15 bE (6,31)	0,95 bD (0,12)
Euskar	C12-R11	53,52 cC (9,43)	59,47 cC (10,47)	1,38 bB (0,22)
	T12-S2	55,58 bB (8,15)	61,75 bB (9,06)	1,40 abAB (0,19)
	T12-S3	56,59 aA (7,48)	62,88 aA (8,31)	1,42 aA (0,18)

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna por fazenda consolidada e letras maiúsculas na região, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste *LSmeans*, a 5% de probabilidade; valores do desvio padrão entre parênteses.

4.2 Custos das CVC

Nas Tabelas 11, 12 e 13 são apresentadas as médias dos custos fixos, variáveis e operacionais das CVC por região, os quais foram estimados de acordo com as distâncias das viagens realizadas entre os povoamentos florestais e o parque industrial. Para apresentar o custo operacional estimado, em US\$ km⁻¹, foi necessário converter os custos variáveis para a mesma unidade através do cálculo da quilometragem mensal percorrida.

Para a região Oeste do Uruguai a distância média mensal foi de 13.513,64 quilômetros percorridos. O valor da *deviance* residual para as variáveis custos referentes a esta região ficou próximo a 1, indicando um bom ajuste. Ao analisar os custos fixos das CVC, é possível observar que estes diferiram para todas as fazendas consolidadas (<0,001). Esse fato pode ser explicado devido aos distintos valores de mercado das CVC, que apresentou uma diferença média total de 17,85%. Os custos variáveis comportaram-se de forma distinta, pois além de possuir uma relação direta com os ciclos operacionais também

sofreram influência do valor de mercado das CVC, que conseqüentemente influenciou na variabilidade dos custos operacionais.

Tabela 11. Média e desvio padrão dos custos das CVC em operação na região Oeste do Uruguai.

Fazenda consolidada	CVC	Custo fixo (US\$ mês ⁻¹)	Custo variável (US\$ km ⁻¹)	Custo operacional (US\$ km ⁻¹)
Bichadero	C12-R11	7,490.63 cE (163,00)	0.8511 cE (0,01)	1.4151 cD (0,11)
	T12-S2	8,021.46 aA (405,11)	0.8769 aA (0,02)	1.4878 aA (0,13)
	T12-S3	7,692.25 bD (159,65)	0.8726 bB (0,01)	1.4627 bB (0,12)
El Tabare	C12-R11	7,485.07 cE (138,20)	0.8431 bF (0,01)	1.3167 bF (0,10)
	T12-S2	8,000.28 aA (424,58)	0.8642 aC (0,02)	1.3812 aE (0,12)
	T12-S3	7,712.85 bD (150,20)	0.8652 aC (0,01)	1.3757 aE (0,12)
Viraroes	C12-R11	7,476.91 cE (115,37)	0.8390 bG (0,01)	1.3775 bE (0,12)
	T12-S2	7,968.54 aB (425,19)	0.8606 aD (0,03)	1.4394 aC (0,14)
	T12-S3	7,671.94 bD (164,24)	0.8613 aD (0,02)	1.4390 aC (0,12)
Rivermol	C12-R11	7,473.85 cE (30,01)	0.7992 cI (0,01)	1.2168 bH (0,08)
	T12-S2	7,914.00 aC (0,81)	0.8132 bH (0,02)	1.2475 aG (0,09)
	T12-S3	7,703.88 bD (157,52)	0.8157 aH (0,01)	1.2259 bH (0,07)

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna por fazenda consolidada e letras maiúsculas na região, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste *LSmeans*, a 5% de probabilidade; valores do desvio padrão entre parênteses.

Ao analisar os custos das CVC em operação na fazenda consolidada Baguales localizada na região Norte do Uruguai, verificou-se valores da *deviance* residual próximos a 1, indicando bom ajuste dos dados. A distância média mensal para a região Norte do Uruguai foi de 23.973,09 quilômetros percorridos. A diferença média de 19,53% do valor de mercado das CVC resultou em custos fixos diferentes estatisticamente ($<0,001$), entretanto mesmo havendo essa diferença, os custos variáveis não apresentaram diferença significativa ($>0,05$). Os custos operacionais diferiram entre si ($<0,001$) e comportaram-se de forma análoga aos custos fixos.

Tabela 12. Média e desvio padrão dos custos das CVC em operação na região Norte do Uruguai.

Fazenda consolidada	CVC	Custo fixo (US\$ mês ⁻¹)	Custo variável (US\$ km ⁻¹)	Custo operacional (US\$ km ⁻¹)
Baguales	C12-R11	7,472,20 c (30,82)	0.7633 a (0,01)	1.0851 c (0,06)
	T12-S2	8,025.69 a (400,03)	0.7733 a (0,01)	1.1182 a (0,06)
	T12-S3	7,681.87 b (152,46)	0.7784 a (0,01)	1.0975 b (0,04)

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste *LSmeans*, a 5% de probabilidade; valores do desvio padrão entre parênteses.

O valor da *deviance* residual para as variáveis custos referentes a região Centro-Oeste do Uruguai ficou próximo a 1, indicando um bom ajuste. A distância média mensal para esta região foi de 24.361,08 quilômetros percorridos. A diferença média do valor de mercado das CVC em operação na fazenda consolidada Arevalo foi de 28,67% e para a fazenda consolidada Euskar foi de 20,29%, essas percentuais implicaram em custos fixos diferentes estatisticamente ($<0,001$). Os custos variáveis sofreram uma influência direta dos distintos valores de mercado e também dos ciclos operacionais, que, por conseguinte resultaram em custos operacionais estatisticamente diferentes ($<0,001$).

Tabela 13. Média e desvio padrão dos custos das CVC em operação na região Centro-Oeste do Uruguai.

Fazenda consolidada	CVC	Custo fixo (US\$ mês ⁻¹)	Custo variável (US\$ km ⁻¹)	Custo operacional (US\$ km ⁻¹)
Arevalo	C12-R11	7,428.49 cD	0.7623 cD	1.1053 cC
		(0,00)	(0,00)	(0,05)
	T12-S2	8,369.08 aA	0.7862 aA	1.1488 aA
		(289,32)	(0,01)	(0,05)
	T12-S3	7,666.40 bC	0.7794 bB	1.1280 bB
		(164,35)	(0,01)	(0,05)
Euskar	C12-R11	7,482.02 cD	0.7610 bD	1.0559 bD
		(25,04)	(0,01)	(0,06)
	T12-S2	8,065.70 aB	0.7742 aC	1.0857 aC
		(404,03)	(0,01)	(0,06)
	T12-S3	7,660.02 bC	0.7751 aC	1.0664 bD
		(157,82)	(0,01)	(0,05)

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna por fazenda consolidada e letras maiúsculas na região, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste *LSmeans*, a 5% de probabilidade; valores do desvio padrão entre parênteses.

O custo fixo mensal da combinação T12-S2 foi maior para todas as fazendas consolidadas. Isto pode ser explicado, entre outros, pelo maior valor de mercado, menor tempo de uso, das marcas e modelos de CVC avaliadas.

Em consequência da quantidade e características técnicas das CVC, distâncias e ciclos operacionais distintos, fatores esses que influenciam os custos operacionais, foram ponderados para efeito de compreensão do comportamento dos custos operacionais (Figura 6), valores médios das CVC, a distância média total de 212,91km entre o povoamento florestal e o parque industrial, ciclo operacional médio de 2,98 e 18.428,43km percorridos mensalmente.

Considerando as 88 CVC avaliadas, independente da caracterização, o somatório dos custos fixos e variáveis resultou em um custo operacional médio de 1.1737 (US\$ km⁻¹). Os custos fixos médios corresponderam a aproximadamente 33,82% e os custos variáveis médios representaram em torno de 65,92%.

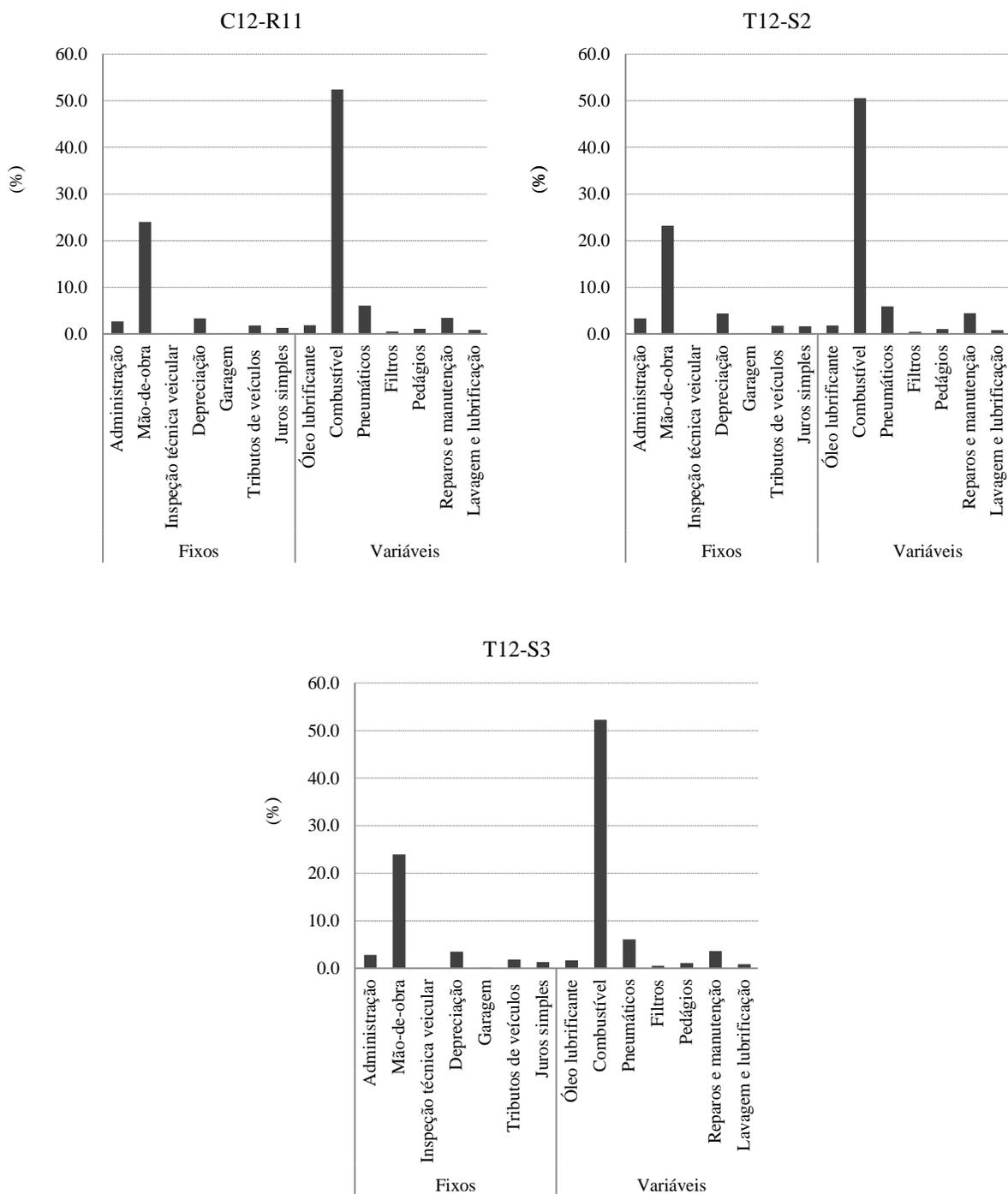


Figura 6. Distribuição percentual dos itens que compõem o custo operacional das CVC avaliadas no Uruguai.

4.3 Ajuste do modelo do frete da madeira

A apresentação das equações para estimar o frete da madeira no Uruguai (f) para cada fazenda consolidada de acordo com a região é descrito na Tabela 14. Segundo Nelder e Wedderburn (1972) os MLG podem ser utilizados quando existe uma variável resposta (Y), que neste estudo é representada pelo frete da madeira e uma amostra aleatória n observações. Esta variável resposta é explicada por um conjunto de covariáveis em função de X_1, X_2, \dots, X_p . Assim sendo, para cada fazenda consolidada, ou seja, para cada povoamento florestal é necessário validar modelos estatísticos específicos.

Tabela 14. Modelos estatísticos para a estimativa do frete esperado da madeira (\hat{f}) no Uruguai.

Região	Fazenda consolidada	Equações do frete esperado da madeira
Oeste	Bichadero	$\hat{f} = e^{(\hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_5 X_5)}$
	El Tabare	$\hat{f} = e^{(\hat{\beta}_1 X_1 - \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 - \hat{\beta}_4 X_4 + \hat{\beta}_5 X_5)}$
	Viraroes	$\hat{f} = e^{(\hat{\beta}_1 X_1 - \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 - \hat{\beta}_4 X_4 - \hat{\beta}_5 X_5)}$
	Rivermol	$\hat{f} = e^{(\hat{\beta}_1 X_1 - \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_5 X_5)}$
Norte	Baguales	$\hat{f} = e^{(\hat{\beta}_1 X_1 - \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_5 X_5)}$
Centro-Oeste	Arevalo	$\hat{f} = e^{(-\hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_4 X_4 + \hat{\beta}_5 X_5)}$
	Euskar	$\hat{f} = e^{(\hat{\beta}_1 X_1 - \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_5 X_5)}$

Onde: X_1 – tempo total da operação; X_2 – tempo de fila para carga; X_3 – velocidade da CVC com carga; X_4 – tempo de descarga; X_5 – tempo de viagem da CVC com carga.

Os gráficos dos resíduos dos modelos ajustados são apresentados nas Figuras 7, 8 e 9. Pode ser observado uma boa qualidade dos ajustes em relação às pressuposições (resíduos normais com média zero e variância constante), apesar da existência de poucos pontos discrepantes em relação a massa total de dados.

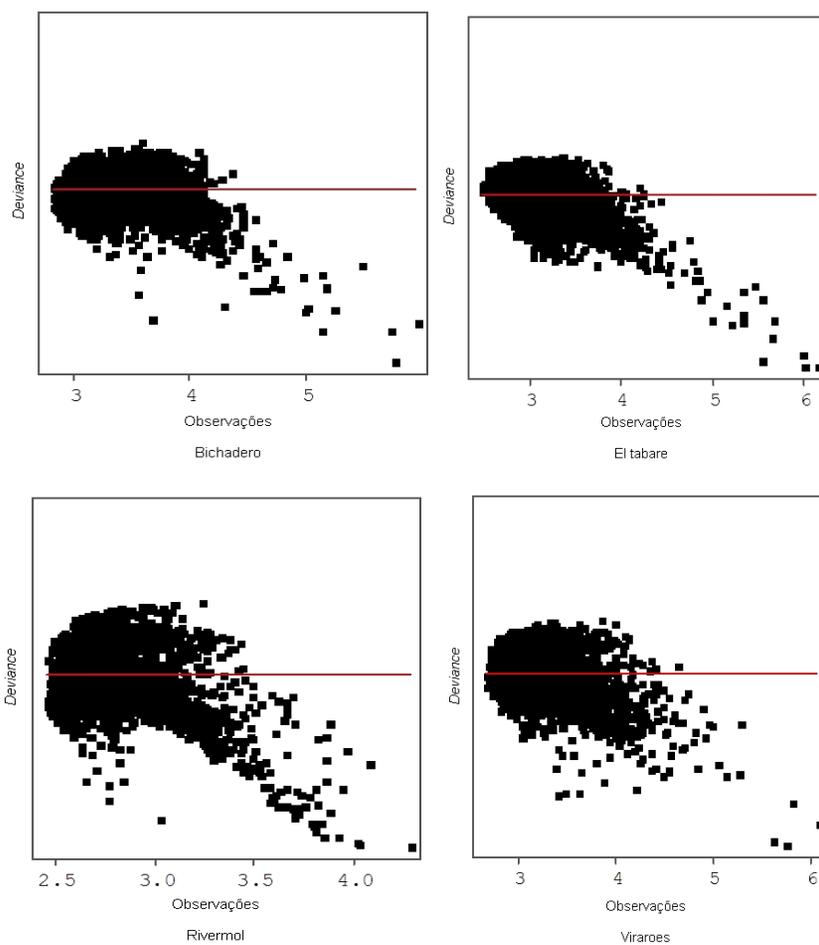


Figura 7. Gráfico dos resíduos dos modelos ajustados para as fazendas consolidadas localizadas na região Norte do Uruguai.

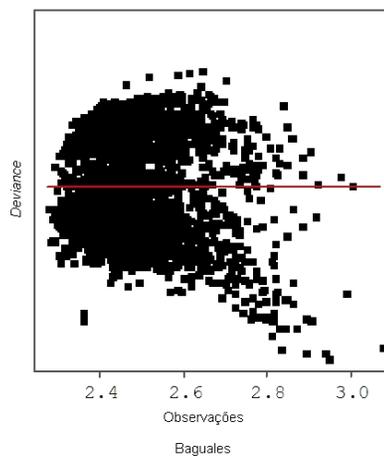


Figura 8. Gráfico dos resíduos dos modelos ajustados para a fazenda consolidada localizada na região Oeste do Uruguai.

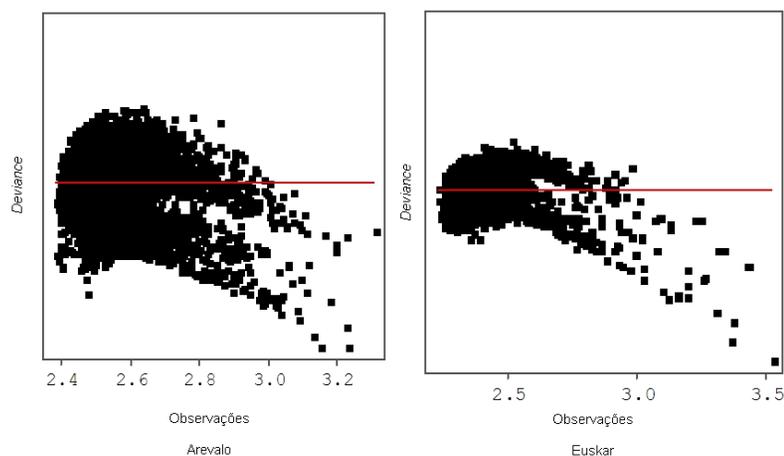


Figura 9. Gráfico dos resíduos dos modelos ajustados para as fazendas consolidadas localizadas na região Centro-Oeste do Uruguai.

4.3.1 Análise do ajuste dos modelos do frete da madeira

Os modelos propostos foram ajustados desconsiderando as combinações de CVC, devido ao fato que os distintos valores, marcas e modelos e, tempo de uso poderiam gerar uma quantidade de modelos estatísticos desnecessários. Nas Tabelas 15, 16 e 17 são apresentados os desvios residuais (*deviance* residual) por grau de liberdade e as estimativas dos parâmetros obtidos pelo ajuste de MLG com erro aleatório gama e função de ligação logarítmica, para a variável resposta frete da madeira (Y).

Tabela 15. Parâmetros do frete esperado da madeira para a região Oeste do Uruguai.

Fazenda consolidada	Grau de liberdade (gl)	Deviance residual/gl	Parâmetro	Estimativa do parâmetro	Erro padrão	p-valor*
Bichadero	7.604	1,0008	β_1	0,0627	0,0016	<0,001
			β_2	0,0071	0,0018	<0,001
			β_3	0,0095	4,299 .10 ⁻⁵	<0,001
			β_5	0,2159	0,0036	<0,001
El Tabare	7.233	1,0014	β_1	0,1297	0,0081	<0,001
			β_2	-0,0488	0,0084	<0,001
			β_3	0,0065	4,193 .10 ⁻⁵	<0,001
			β_4	-0,0173	0,0087	0.0464
			β_5	0,1197	0,0161	<0,001
Viraroes	5.721	1,0013	β_1	0,2214	0,0079	<0,001
			β_2	-0,1547	0,0082	<0,001
			β_3	0,0090	5,428 .10 ⁻⁵	<0,001
			β_4	-0,1433	0,0085	<0,001
			β_5	-0,1598	0,0154	<0,001
Rivermol	6.185	1,0007	β_1	0,0513	0,0012	<0,001
			β_2	-0,0056	0,0014	<0,001
			β_3	0,0070	3,174 .10 ⁻⁵	<0,001
			β_5	0,0825	0,0025	<0,001

* Nível de probabilidade pelo teste de *Wald*, a 5% de probabilidade.

Tabela 16. Parâmetros do frete esperado da madeira para a região Norte do Uruguai.

Fazenda consolidada	Grau de liberdade (gl)	Deviance residual/gl	Parâmetro	Estimativa do parâmetro	Erro padrão	p-valor*
Baguales	2.990	1,0011	β_1	0,0237	0,0013	<0,001
			β_2	-0,0060	0,0014	<0,001
			β_3	0,0057	4,264 .10 ⁻⁵	<0,001
			β_5	0,0203	0,0026	<0,001

* Nível de probabilidade pelo teste de *Wald*, a 5% de probabilidade.

Tabela 17. Parâmetros do frete esperado da madeira para a região Centro-Oeste do Uruguai.

Fazenda consolidada	Grau de liberdade (gl)	Deviance residual/gl	Parâmetro	Estimativa do parâmetro	Erro padrão	p-valor*
Arevalo	6.636	1,0009	β_1	-0,0118	0,0032	0.003
			β_2	0,0247	0,0034	<0,001
			β_3	0,0073	$3,368 \cdot 10^{-5}$	<0,001
			β_4	0,0205	0,0035	<0,001
			β_5	0,0743	0,0062	<0,001
Euskar	3.504	1,0013	β_1	0,0261	0,0013	<0,001
			β_2	-0,0083	0,0014	<0,001
			β_3	0,0054	$3,064 \cdot 10^{-5}$	<0,001
			β_4	0,0186	0,0025	<0,001
			β_5	0,0186	0,0025	<0,001

* Nível de probabilidade pelo teste de *Wald*, a 5% de probabilidade.

4.4 Frete esperado da madeira

Após o ajuste dos modelos estatísticos e da obtenção dos valores médios das covariáveis explicativas, de acordo a fazenda consolidada, apresentados nos Apêndices 7.10 a 7.12, estimou-se o frete esperado da madeira no Uruguai (US\$ km⁻¹), em consonância ao descrito no item 3.2.2.

O frete da madeira quando mensurado em unidades monetárias por quilômetro percorrido, que para a condição deste estudo foi mensurado em US\$ km⁻¹, deve ser inversamente proporcional à distância percorrida, fato esse que não ocorreu para as distintas regiões (Tabela 18). Isso pode ser explicado devido à prévia constatação dos tempos improdutivos, ou seja, relativo à atividade parcial tempo de fila para carga, estar acima da média nas fazendas consolidadas Bichadero, Viraroes, Rivermol, Baguales e Euskar. Esse maior dispêndio de tempo possui um efeito negativo no ciclo operacional, que por sua vez compromete diretamente os custos variáveis das CVC.

Outro aspecto que também produziu esse efeito foi à variabilidade do valor de mercado das CVC, o qual possui uma influência direta sobre os custos operacionais. Entretanto como não foi objeto desse estudo avaliar separadamente as marcas e modelos das CVC, foram considerados os valores médios, entendendo que a grandeza da amostra, justifica

a confiabilidade dos resultados obtidos e evidencia a possibilidade da utilização da modelagem estatística para diminuir a complexidade da estimativa do frete da madeira, baseado em custos operacionais pré-estabelecidos.

Tabela 18. Frete esperado da madeira no Uruguai.

Região	Fazenda consolidada	Distância média total (km)	Frete esperado da madeira (US\$ km ⁻¹)
Oeste	Bichadero	73,94	3.2882
	El Tabare	72,86	3.0454
	Viraroes	84,86	3.1964
	Rivermol	142,00	2.7691
Norte	Baguales	421,68	2.4903
Centro-Oeste	Arevalo	503,01	2.5605
	Euskar	410,00	2.4336

Na Figura 10 pode ser observado o mapa de isolinhas baseado na interpolação polinomial do frete esperado da madeira. Assim sendo, previu-se o valor de 12 fretes da madeira para locais não amostrados, considerando que o parque industrial para onde era movimentada toda a madeira transportada, está localizado ao extremo Oeste do Uruguai. Portanto quanto maior a distância entre o povoamento florestal e o parque industrial, menor o frete da madeira estabelecido em unidades monetárias e por quilômetro percorrido.

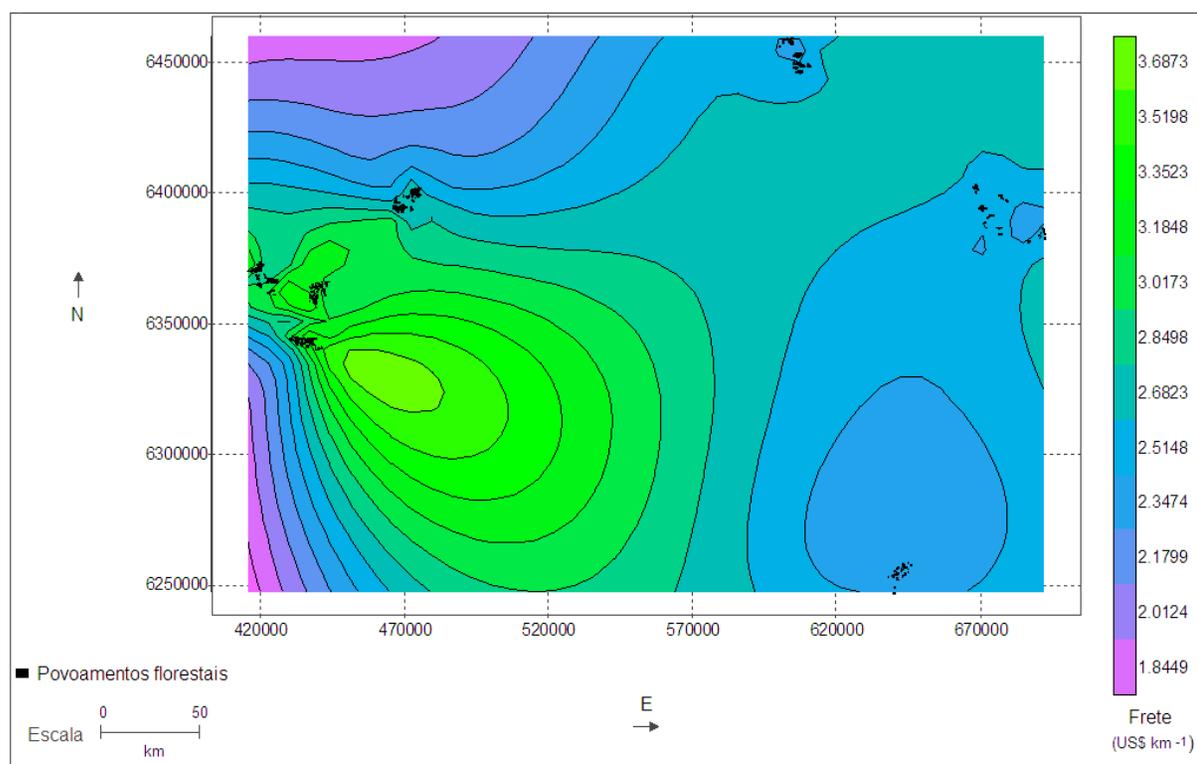


Figura 10. Isolinhas obtidas por meio da suavização por *spline* cúbica.

5 CONCLUSÕES

O Modelo Linear Generalizado com resposta gama e função de ligação logarítmica é apropriado para estimar o frete da madeira, já que este apresentou distribuição não normal.

Diferentes distâncias de transporte rodoviário da madeira possuem distintas covariáveis explicativas, que resultam na validação de modelos estatísticos específicos para cada povoamento florestal.

A identificação das covariáveis que explicam o frete da madeira permite a otimização do uso das Combinações de Veículos de Carga e, conseqüentemente a minimização do frete da madeira.

A estimativa dos custos operacionais das Combinações de Veículos de Carga obtidas por meio do método contábil permitiu uma maior proximidade entre o valor real e o esperado, do frete da madeira.

6 REFERÊNCIAS

BANCO CENTRAL DEL URUGUAY. Cotizaciones y arbitrajes diarios. Disponível em: <<http://www.bcu.gub.uy/autoriza/opinme/oicot090311.txt>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

BARBOSA, L. **Metodologias estatísticas na análise de germinação de sementes de mamona**. 2010. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

BERGER, R. **Minimização do custo de transporte de madeira de eucalipto no Estado de São Paulo**. 1975. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais Rurais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1975.

BERGER, R. et al. Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 1, p. 53-62, 2003.

BORGATTO, A. F. **Modelos para proporções com superdispersão e excesso de zeros: um procedimento bayesiano**. 2004. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Estatística e Experimentação Agronômica)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CAIXETA FILHO, J. V. Particularidade das modalidades de transporte. In: CAIXETA FILHO, J. V.; GAMEIRO, A. H. (Orgs.). **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001. p. 62-111.

CHARACKLIS, W. G. Kinetics of microbial transformations. In: CHARACKLIS, W. G.; MARSHALL, K. C. (Eds.). **Biofilms**. New York: John Wiley & Sons, 1990. p. 233-264.

CHESTER, A.; HARRISON, R. **The highway design and maintenance standards model (HDM-III)**: vehicle operating costs: evidence from developing countries. Washington, DC: World Bank Transportation Department, 1987. p. 149-199.

CORREA JÚNIOR, G. et al. Oferta de transportes: fatores determinantes do valor do frete e o caso das centrais de cargas. In: CAIXETA-FILHO, J. V.; MARTINS, R. S. (Orgs.). **Gestão logística de transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, 2001. p. 88-107.

COSTA, F. A.; SOUZA, R. A. T.; LEITE, A. M. P. Transporte rodoviário de madeira: um estudo de caso na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 6., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa, MG: UFV; SIF, 2003. p. 350-362.

COX, D. R.; SNELL, E. J. A general definition of residuals. **Journal of the Royal Statistical Society B**, London, v. 30, p. 248-275, 1968.

DEMÉTRIO, C. G. B. **Modelos lineares generalizados na experimentação agrônômica**. Piracicaba: ESALQ, 2001. 113 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. Portarias. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/port2009.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Custos de Infra-estrutura de Transportes. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <<https://gestao.dnit.gov.br/servicos/sicro-3-em-consulta-publica>>. Acesso em: 06 mar. 2011.

DIAS, R. O uso de splines em regressão não-paramétrica. 2001. Métodos não paramétricos. Disponível em: <<http://www.ime.unicamp.br/~dias/usp.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2011.

DIRECCIÓN GENERAL IMPOSITIVA. Impuesto al valor agregado. 2008. Disponível em: <<http://www.dgi.gub.uy/wdgi/agxppdwn?6,4,213,O,S,0,7986%3BS%3B20%3B877,>>>. Acesso em: 16 mar. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES. **Pesquisa sobre o inter-relacionamento dos custos de construção, conservação e utilização de rodovias.** Relatório Final. Brasília, DF: Ministério dos Transportes, 1981. v. 12.

FINNEY, D. J. **Probit analysis.** Cambridge: Cambridge University Press, 1947. 333 p.

FISHER, R. A. On the mathematical foundations of theoretical statistics. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, London, n. 222, p. 309-368, 1922.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Logging and log transport in made-made forests in developing countries.** Rome: FAO, 1974, p. 235

FREITAS, L. C. et al. Estudo comparativo envolvendo três métodos de cálculo de custo operacional do caminhão bitrem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 855-863, 2004.

FREITAS, M. B. Transporte rodoviário de cargas e sua respectiva responsabilidade civil. 2004. Disponível em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=5231>>. Acesso em: 11 fev. 2010.

GRIZZLE, J. E.; STARMER, C. F.; KOCH, G. C. Analysis of categorical data by linear models. **Biometrics**, Washington, DC, v. 25, p. 489-504, 1969.

HEDERSTROM, T. Ubicación de las industrias forestales. In: SEMINÁRIO SOBRE EL TRANSPORTE DE LA MADERA EN PAISES DE AMÉRICA LATINA, 6., 1975, México. **Anales...** Roma: FAO; SIDA, 1975. p. 198-208.

IMPARATO, L. R.; SANTOS, A. R. **Adequação de veículos.** São Paulo: Mercedes-Benz do Brasil, 1983. 17 p.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. Programa nacional de producción forestal. **Revista INIA**, Montevideo, n. 19, p. 43-46, 2009.

KATO, J. M. **Cenários estratégicos para a indústria de transportes rodoviários de cargas no Brasil.** 2005. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

KATO, S. K.; VIEIRA, D. M.; FACHEL, J. M. G. Utilização da modelagem inteiramente bayesiana na detecção de padrões de variação de risco relativo de mortalidade infantil no Rio Grande do Sul, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 7, 1501-1510, 2009.

KOTZ, S.; JOHNSON, N. L. **Encyclopedia of statistical sciences**. New York: John Wiley & Sons. 1983. v. 3, 657 p.

LACOWICZ, P. G. et al. Minimização dos custos de transporte rodoviário florestal com o uso da programação linear e otimização do processo. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 1, 75-87, 2002.

LAMBERT, D. Zero-inflated poisson regression, with an application to defects in manufacturing. **Technometrics**, Washington, DC, v. 34, p. 1-14, 1992.

LEE, Y., NELDER, J. A. Generalized linear models for the analysis of quality improvement experiments. **Canadian Journal of Statistics**, Montreal, v. 26, 95-105, 1998.

LEITE, A. M. P. **Análise dos fatores que afetam o desempenho de veículo e o custo de transporte de madeira no distrito florestal do Vale do Rio Doce/MG**. 1992. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG 1992.

LENÇÓIS TECNOLOGIAS RODOVIÁRIAS. Linha florestal. 2009. Disponível em: <http://www.lencoisequipamentos.com.br/index_lencois.html>. Acesso em: 15 fev. 2010.

LIANG, K. Y.; ZEGER, S. L. Longitudinal data analysis using generalized linear models. **Biometrika**, London, v. 73, n. 1, p. 13-22, 1986.

MACHADO, C. C. **Sistema brasileiro de classificação de estradas florestais (SIBRACEF): desenvolvimento e relação com o meio de transporte florestal rodoviário**. 1989. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S.; BIRRO, M. H. B. **Elementos básicos do transporte florestal rodoviário**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 167 p.

MACHADO, C. C. et al. **Transporte rodoviário florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 217 p.

MALINOVSKI, J. R. Metodologia do custo-hora para máquinas florestais. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 4., 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, 1983. p. 48-56.

McCULLAGH, P.; NELDER, J A. **Generalized linear models**. 2. ed. London: Chapman & Hall, 1989. 511 p.

MIGON, H. S.; GAMERMAN, D. **Statistical inference: an integrated approach**. London: Edward Arnold, 1999. 262 p.

MONTGOMERY, D.C. Design and analysis of experiments. New York: John Wiley & Sons, 1997, 704 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS. Pesos brutos máximos por eje y totales por tipo de vehículo. 2005. Disponível em:
<<http://www.dnt.gub.uy/portal/agxppdwn.aspx?11,4,281,O,S,0,2778%3BS%3B4%3B123>>.
Acesso em: 17 fev. 2011.

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS. Red Vial Nacional - Estado de Confort. 2007. Disponível em:
<<http://www.mtop.gub.uy/gxpsites/hgxpp001?1,5,64,O,S,0,PAG;CONC;68;9;D;120;1;PAG;MNU;E;2;7;6;2;33;1;MNU;,>>>. Acesso em: 13 mai. 2011.

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS. Legislación Nacional: Reglamento Nacional de Circulación Vial. 2009. Disponível em:
<<http://www.dnt.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?11,4,227,O,S,0,MNU;E;84;6;114;1;129;3;MN>>. Acesso em: 01 mar. 2011.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 135, p. 370-384, 1972.

ORTEGA, E. M. M; BOLFARINE, H.; PAULA, G. A. Influence diagnostic in generalized log-gamma regression model. **Computational Statistics and Data Analysis**, Amsterdam, v. 42, p. 165-186, 2003.

PAULA, G. A. Modelos de regressão com apoio computacional. São Paulo: IME/USP. 2004. Disponível em: <<http://www.ime.usp.br/~giapaula/livro.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2011.

PAULO, M. Transporte ineficiente prejudica agronegócio. 2004. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/200404/reportagens/03.shtml>>. Acesso em: 13 fev. 2010.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e a logística internacional**. 4. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2007. 248 p.

SAAB-SCANIA DO BRASIL S/A. **Custos operacionais**. São Bernardo do Campo: [s. n.], 1988. 68 p.

SANS, C.; DANILUK, G. LÓPEZ, Q. M. Bienes y servicios de los bosques implantados en Uruguay: evaluación preliminar de los productos forestales no madereros de mayor importancia comercial. **Agrociencia**, Montevideo, v. 11, n. 1, p. 73-80, 2007.

SANT'ANNA, A. M. O.; CATEN, S. T. C.; Modelagem da fração de não-conformes em processos industriais. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 53-72, 2010.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system for Windows 9.2**. Cary: SAS, 2010. 1 CD-ROM.

SCHOENBER, I. J. Spline interpolation and best quadrature formulae. **Bulletin of the American Mathematical Society**, Lancaster, v. 70, p. 143-148, 1964.

SEIXAS, F. **Uma metodologia de seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira**. 1992. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

SEIXAS, F. Novas tecnologias no transporte rodoviário de madeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5., 2001, Porto Seguro. **Anais...** Viçosa, MG: Sociedade de Investigação Florestal, 2001. p. 1-27.

SEIXAS, F.; WIDMER, J. A. Seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira, utilizando-se de programação linear não inteira. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 46, p. 107-118, jan./dez. 1993.

SILVA, M. L. et al. Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1073-1079, 2007.

SIMÕES, D. et al. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com harvester. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 611-618, 2010.

SOCIEDAD DE PRODUCTORES FORESTALES. El sector forestal en el Uruguay. 2011a. Disponível em:
<<http://www.fagro.edu.uy/~forestal/Archivos/Sector%20Forestal%20Uruguayo%20marzo%202011.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2011.

SOCIEDAD DE PRODUCTORES FORESTALES. Forestación. 2011b. Disponível em:
<http://www.spf.com.uy/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=28>. Acesso em: 13 mai. 2011.

SOUSA, R. A. T. M. **Análise do fluxo de transporte rodoviário de toras curtas de eucalipto para algumas indústrias de celulose e de chapas de composição no Estado de São Paulo**. 2000. 128 f. Tese (Doutorado em Ciências/Economia Aplicada)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SPEDDING, C. R. W. General aspects of modelling and its application in livestock production. In: KORVER, S., VAN ARENDOK, J. A. M. (Eds.). **Modelling of livestock production systems**. London: Kluwer Academic, 1988. p. 3-13.

SPEGLICH, E. Rodovias são obras de grande impacto. 2004. Disponível em:
<<http://www.comciencia.br/200404/reportagens/08.shtml>>. Acesso em: 08 abr. 2011.

SPIEGELHALTER, D. J.; BEST, N. G.; CARLIN, B. P.; LINDE, A. Bayesian measures of model complexity and fit. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, n. 64, p. 583-639, 2002.

STRAŠKRABA, M. Limnological basis for modeling reservoir ecosystems. In: ACKERMANN, W. C., WHITE, G. F., WORTHINGTON, E. B. (Eds.). **Geophysical Monograph Series**, Washington, DC, v. 17, p. 517-535, 1973.

STREIT, M.; NAGY, J.; HASELGRUBER, F. **Exploração florestal**. Itati: Colégio Florestal. 1982. 139 p. (Mimeografado).

UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE/FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Good practice guidance on the sustainable mobilization of wood in Europe. March 2010. Disponível em: <http://timber.unece.org/fileadmin/DAM/publications/wood-mobilization-good_practice-guidance.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2011.

WATANATADA, T.; DHARESHWAR, A.; REZENDE, L. P. R. S. **The highway design and maintenance standards model (HDM-III): operating costs**. Washington, DC: World Bank Transportation Department, 1987. p. 247-291.

WHITTAKER, E. T. On new method of graduation. **Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society**, Edinburgh, n. 41, p. 63-75, 1923.

WIDMER, J. A. Proposta de nomenclatura para caminhões, ônibus, CVCs – Combinações de Veículos de Carga e CVPs – Combinações de Veículos de Passageiros. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANPET, 2004. 1 CD-ROM.

WORREL, A. C. **Economics of american forestry**. New York: John Wiley, 1959. 441 p.

7 APÊNDICES

Apêndice 7.1 - Valores médios das CVC praticados no mercado uruguaio.

Transportadora	Caracterização da CVC	Marca	Modelo	Caminhão c/ pneumáticos (US\$)	Reboque ou semi c/ pneumáticos (US\$)
1	T12-S2	Volkswagen	23310	59,675.29	20,880.25
1	T12-S2	Volkswagen	24310 - Worker	56,248.95	16,991.70
1	T12-S2	Volvo	VM310	75,035.97	21,494.38
2	T12-S2	Renault	370 Dxi11	63,687.47	17,748.21
2	T12-S2	Scania	P 340 LA6x2NA	98,826.87	17,748.21
2	C12-R11	Volkswagen	24310 - Worker	53,662.27	14,613.38
2	C12-R11	Volvo	FH400	110,939.03	31,105.17
2	T12-S2	Volvo	FH400	105,590.65	17,748.21
3	C12-R11	Volkswagen	24310 - Worker	58,469.04	18,130.72
3	T12-S2	Volkswagen	25320 - Constellation	51,991.83	17,748.21
4	T12-S2	Scania	P 340 LA6x2NA	97,262.07	19,755.43
5	C12-R11	Volkswagen	24310 - Worker	53,555.14	13,801.53
5	T12-S2	Scania	P 340 LA6x2NA	91,753.21	20,432.82
5	T12-S2	Volvo	FH400	105,590.65	17,748.21
6	T12-S3	Mercedes-Benz	1728	62,613.51	18,299.43

Apêndice 7.2 - Salários e encargos trabalhistas praticados no Uruguai.

Salários	Unidade	Valor
Salário do gerente administrativo	US\$ mês ⁻¹	1,900.00
Salário do mecânico + ajudante	US\$ mês ⁻¹	1,400.00
Salário do motorista	US\$ mês ⁻¹	1,200.00
Salário do pessoal administrativo	US\$ mês ⁻¹	600.00
Encargos trabalhistas (básicos)		
<i>Aguinaldo Salario</i>	%	8,33
<i>Aporte Patronal Licencia</i>	%	23,34
<i>Aportes Jubilados Patronal</i>	%	7,50
<i>Aportes Jubilados Patronal Dependiente</i>	%	7,50
<i>Aportes Jubilados Personal</i>	%	15,00
<i>Fondo de Reconversión Laboral Patronal</i>	%	0,125
<i>Fondo de Reconversión Laboral Personal</i>	%	0,125
<i>Salario Vacacional</i>	%	6,66
<i>Seguro de Enfermedad Patronal Dependiente</i>	%	5,00

Apêndice 7.3 - Impostos e tributos obrigatórios praticados no Uruguai.

Impostos e tributos	Unidade	Valor
<i>Deducción del IVA para Gasoil</i>	%	9,53
<i>Deducción del IVA para Peaje</i>	%	40,00
<i>Impuesto a las Rentas de las Actividades Económicas (IRAE)</i>	%	25,00
<i>Valor Inspección Técnica Vehicular (SUCTA)</i>	US\$	153.76
<i>Valor Patente y Seguro (anual)</i>	US\$	5,135.35
<i>Valor Permiso Nacional de Circulación Profesional</i>	US\$	43.08

Apêndice 7.4 - Números referenciais.

Valores referenciais	Unidade	Valores
Número de gerente administrativo	nº	0.7
Número de motoristas por CVC	nº	2.3
Número de pessoal administrativo	nº	1
Número de mecânicos	nº	2.5
Número de pneumáticos de tração + pneumáticos sobressalente das CVC	nº	5
Número de pneumáticos direcional + pneumáticos sobressalente das CVC C12-R11 e T12-S2	nº	15
Número de pneumáticos direcional + pneumáticos sobressalente da T12-S3	nº	19
Número de dias de trabalho mensal da CVC	dias	23
Número de horas de trabalho diário do carregador florestal	h	24
Vida útil econômica da CVC	meses	72
Intervalo das lavagens	km	13.000
Número de lavagens realizadas a cada intervalo	nº	2
Quantidade de água utilizada durante a lavagem da CVC	L	700
Quantidade de removedor de graxa utilizado durante a lavagem da CVC	L	7
Quantidade de sabão líquido utilizado durante a lavagem da CVC	L	7

Apêndice 7.5 - Valores de mercado.

Valores de mercado	Unidade	Valores
Valor da água utilizada para a lavagem	US\$ L ⁻¹	0.0010
Valor do removedor de graxa	US\$ L ⁻¹	3.50
Valor do sabão líquido	US\$ L ⁻¹	5.50
Valor da recauchutagem do pneu de tração	US\$	165.00
Valor da recauchutagem do pneu direcional	US\$	150.00
Valor do óleo de câmbio	US\$ L ⁻¹	8.03
Valor do óleo de cárter	US\$ L ⁻¹	4.34
Valor do óleo diesel	US\$ L ⁻¹	1.678
Valor do óleo de direção	US\$ L ⁻¹	6.63
Valor do óleo do eixo motriz	US\$ L ⁻¹	7.24
Valor do óleo do sistema de arrefecimento	US\$ L ⁻¹	3.35
Valor do pedágio por praça	US\$	9.21
Valor do pneumático radial de tração 295/80 - 22.5	US\$	545.00
Valor do pneumático radial direcional 295/80 - 22.5	US\$	507.00

Apêndice 7.6 - Coeficientes e índices técnicos.

Coeficientes e índices	Unidade	Valor
Coefficiente de reparos e manutenção	k	0,9
Índice de administração	%	10,00
Índice de garagem	%	0,50
Índice de graxas e filtros	%	1,0
Índice de oficina própria	%	1,0
Índice de recuperação dos pneumáticos	%	5,0
Índice do valor residual do caminhão	%	55,0
Índice do valor residual do reboque ou semi reboque	%	15,0
Margem de ganho da empresa	%	9,6
Taxa de juros (a.a.)	%	7,5

Apêndice 7.7 - Informações técnicas das CVC.

Informações técnicas	Unidade	Valor
Consumo médio de combustível	km L ⁻¹	2,5
Quantidade de recauchutagem dos pneumáticos de tração	n°	2
Quantidade de recauchutagem dos pneumáticos direcional	n°	2
Limite de quilometragem do óleo do câmbio/eixo motriz/direção/fluido sistema de arrefecimento	km	40.000
Limite de quilometragem do óleo de cárter	km	20.000
Vida útil dos pneumáticos com as recauchutagens	km	240.000

Apêndice 7.8 - Volume de abastecimento de óleos lubrificantes.

Marca	Modelo	Cárter (L)	Antes da próxima troca (L);	Câmbio (L)	Eixo motriz (L)	Direção (L)	Sistema de arrefecimento (L)
Mercedes-Benz	1728	28,0	9,8	8,5	10	3,5	37,0
Renault	370 Dxi11	25,0	8,75	14,0	18	3,5	38,0
Scania	P 340 LA6x2NA	33,0	11,5	15,4	14,0	4,0	50,0
Volkswagen	23310	22,0	7,7	14,0	21,0	3,7	33,2
Volkswagen	24310 - Worker	34,2	11,9	9,2	21,0	3,7	33,2
Volkswagen	25320 - Constellation	21,0	7,3	14,5	21,0	2,0	31,5
Volvo	FH400	33,0	11,5	13,5	9,0	4,5	38,0
Volvo	VM310	24,5	8,5	13,5	13,5	4,5	23,0

Apêndice 7.9 - Massas das CVC.

Caracterização da CVC	Marca	Modelo	MBTC (t)	Massa líquida (t)	Capacidade de carga líquida (t)
C12-R11	Volkswagen	23310	45,0	14,33	30,67
C12-R11	Volkswagen	24310 - Worker	45,0	14,19	30,81
C12-R11	Volvo	FH400	45,0	14,22	30,78
T12-S2	Renault	370 Dxi11	45,0	15,16	29,84
T12-S2	Scania	P 340 LA6x2NA	45,0	15,28	29,72
T12-S2	Volkswagen	24310 - Worker	45,0	13,79	31,21
T12-S2	Volkswagen	23310	45,0	14,23	30,77
T12-S2	Volkswagen	25320 - Constellation	45,0	15,23	29,77
T12-S2	Volvo	FH400	45,0	15,64	29,36
T12-S2	Volvo	VM310	45,0	13,92	31,08
T12-S3	Mercedes-Benz	1728	49,5	14,26	35,24

Apêndice 7.10 - Valores médios das covariáveis explicativas para a região Oeste do Uruguai.

Fazenda consolidada	Covariável	Unidade	Valor médio
Bichadero	X ₁	Minuto	6,22
	X ₂	Minuto	1,67
	X ₃	Km h ⁻¹	41,41
	X ₅	Minuto	1,83
El Tabare	X ₁	Minuto	5,19
	X ₂	Minuto	1,46
	X ₃	km h ⁻¹	55,58
	X ₄	Minuto	0,85
	X ₅	Minuto	1,38
Rivermol	X ₁	Minuto	8,60
	X ₂	Minuto	1,45
	X ₃	km h ⁻¹	46,75
	X ₅	Minuto	3,13
Viraroes	X ₁	Minuto	6,82
	X ₂	Minuto	1,47
	X ₃	km h ⁻¹	39,70
	X ₄	Minuto	0,87
	X ₅	Minuto	2,21

Onde: X₁ – tempo total da operação; X₂ – tempo de fila para carga; X₃ – velocidade da CVC com carga; X₄ – tempo de descarga; X₅ – tempo de viagem da CVC com carga.

Apêndice 7.11 - Valores médios das covariáveis explicativas para a região Norte do Uruguai.

Fazenda consolidada	Covariável	Unidade	Valor médio
Baguales	X ₁	Minuto	19,70
	X ₂	Minuto	2,29
	X ₃	km h ⁻¹	50,30
	X ₅	Minuto	8,50

Onde: X₁ – tempo total da operação; X₂ – tempo de fila para carga; X₃ – velocidade da CVC com carga; X₅ – tempo de viagem da CVC com carga.

Apêndice 7.12 - Valores médios das covariáveis explicativas para a região Centro-Oeste do Uruguai.

Fazenda consolidada	Covariável	Unidade	Valor médio
Arevalo	X ₁	Minuto	24,25
	X ₂	Minuto	1,43
	X ₃	km h ⁻¹	45,08
	X ₄	Minuto	0,91
	X ₅	Minuto	11,35
Rivermol	X ₁	Minuto	17,46
	X ₂	Minuto	0,89
	X ₃	km h ⁻¹	55,60
	X ₅	Minuto	7,57

Onde: X₁ – tempo total da operação; X₂ – tempo de fila para carga; X₃ – velocidade da CVC com carga; X₄ – tempo de descarga; X₅ – tempo de viagem da CVC com carga.