

AVALIAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS UNITÁRIOS PARA AS NOVAS CONFIGURAÇÕES DE VEÍCULOS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS

Rafael Roco de Araújo

Liane Werner

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

O transporte rodoviário de cargas no Brasil tem experimentado nos últimos quinze anos, uma evolução significativa em termos de tecnologia veicular. Este fato resulta em melhoria do nível de desempenho operacional, aumento de capacidade de carga com novas configurações de eixos e equipamentos de carga especializados. Assim, é importante avaliar de forma comparativa os custos operacionais para estas novas configurações e equipamentos de carga, o que se constitui no objetivo do presente trabalho. Para isso foram utilizadas ferramentas de análise estatística a fim de serem consideradas as várias possibilidades de combinação. Busca-se, com isso, contribuir para o processo de tomada de decisão em transportes, possibilitando inclusive uma análise comparativa da utilização de outros modais de transporte.

ABSTRACT

The road transportation in Brazil has tried in last fifteen years, a significant evolution in terms of vehicle technology. This fact results in improvement on operational performance level, load capacity increase due to new axle configurations and specialized load equipments. Thus, it is important to evaluate in comparative manner the operational costs for these new configurations and load equipments, which is the present work aim. It was used statistic analysis tools so as to be considered several combination possibilities. It is searched, thus, to contribute for the transportation decision process, enabling yet a comparative analysis of the other modal transportation utilization

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação do setor produtivo no sentido de incrementar a eficiência dos processos, como meio de alcançar ou manter uma posição de vantagem competitiva no mercado, tem direcionado boa parte da atenção dos tomadores de decisão para os aspectos relacionados à logística. Em sua essência, a logística tem como função vencer as barreiras espaciais e temporais, a fim de que matérias-primas, produtos em processo e produtos acabados, possam ser disponibilizados nos locais, tempos e quantidades requeridos. Vista como um sistema, a logística é formada por um conjunto de partes ou atividades que interagem a fim de serem atingidos os objetivos estabelecidos (Alvarenga e Novaes, 1994).

Independentemente da complexidade do sistema logístico, três atividades são consideradas primárias, ou seja, formam a base de sustentação do sistema: a *gestão de estoques*, o *processamento de pedidos* e o *transporte* (Ballou, 1993). Quanto a este último, em particular, é o responsável pela consecução do fluxo de materiais entre os vários elementos de um canal de distribuição, agregando assim valor ao produto. Além disso, a participação percentual dos custos de transporte nos custos logísticos totais é bastante significativa, podendo variar de 30 a 60% (Ballou, 1999).

No Brasil, e mesmo em países desenvolvidos, o bom desempenho do transporte rodoviário em termos de frequência, disponibilidade e confiabilidade induz sua aplicação em percursos variáveis, compreendendo desde coletas e entregas urbanas até viagens de longa distância.

Contudo, seu principal diferencial frente aos demais modais ainda é o de possibilitar o transporte *porta-a-porta* com tempos em trânsito reduzidos.

Apesar dos sérios problemas apresentados pela infra-estrutura rodoviária nacional, (decorrente dos baixos investimentos) tem sido bastante relevante a evolução da tecnologia veicular aplicada no país nos últimos anos. Os efeitos mais significativos são observados no aumento dos níveis de potência (que resulta em maiores velocidades médias), confiabilidade e conforto dos veículos, bem como do aumento da capacidade de carga com novas configurações de eixos, como o *bi-trem* e o *rodo-trem*, e a especialização do transporte com novos equipamentos de carga como *sider* e as bases *porta-contêineres*.

Em função desta evolução surge a necessidade de avaliar de forma comparativa os custos operacionais unitários destas novas configurações e equipamentos em função da variação da quantidade de carga transportada, o que se constitui no objetivo do presente trabalho. Para isso foram utilizadas ferramentas de análise estatística de modo a contemplar as várias possibilidades de combinação.

Quanto a organização do trabalho, na seção 2 é feita a descrição dos custos operacionais que ocorrem no transporte rodoviário de cargas. A seção 3 apresenta os aspectos teóricos básicos da análise de regressão. O processo de desenvolvimento da pesquisa no tocante a montagem das configurações, coleta e tabulação dos dados, parâmetros operacionais e construções dos modelos de estimativa de custo são apresentados na seção 4, seguindo em 5 a análise dos resultados obtidos. Por último, na seção 6, são feitas as considerações finais do trabalho.

2. CUSTOS OPERACIONAIS DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS

O transporte rodoviário de cargas apresenta uma estrutura de custos formada por dois grupos: o dos custos *indiretos* e o dos custos *diretos* ou *operacionais*.

Os custos indiretos compreendem uma série de gastos que não se relacionam diretamente com a produção/operação do serviço de transporte, como por exemplo, o setor administrativo e serviços de apoio (segurança, conservação e limpeza). Tais custos variam bastante de empresa para empresa conforme sua estrutura organizacional e tamanho. No caso dos custos operacionais, os gastos estão relacionados com a atividade produtiva propriamente dita. Tais custos podem ser subdivididos em *fixos* e *variáveis* (Alvarenga e Novaes, 1994)

Os custos fixos englobam um conjunto de gastos, cujo valor, dentro de certos limites razoáveis de produção, não varia em função do nível de atividade da empresa ou grau de utilização do equipamento. Os custos variáveis, por sua vez, são proporcionais à utilização (Valente *et al*, 1996).

As parcelas que compreendem os custos fixos são:

- *Depreciação*: fundo de reserva que tem como objetivo repor o bem quando for encerrada sua vida útil;

- *Remuneração de capital*: visa cobrir o custo de oportunidade, ou seja, o capital empregado na aquisição do bem (veículo e equipamentos) poderia ter sido direcionado a outra aplicação com retorno garantido segundo uma *Taxa Mínima de Atratividade* – TMA;
- *Mão-de-obra*: compreende os gastos com salários, leis sociais, diárias, seguros, planos de saúde, de pessoas envolvidas diretamente na operação como motoristas, conferentes e ajudantes;
- *Seguro facultativo*: visa o ressarcimento à empresa do valor do bem em caso de perda (por acidentes ou roubos) ou a terceiros em caso de acidentes com danos pessoais e/ou materiais;
- *Impostos e taxas*: engloba o Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores – IPVA e o Seguro Obrigatório.

Pode ser considerado ainda como parcela do custo fixo o *gerenciamento de risco*, como é o caso dos *rastreadores* que englobam o investimento no equipamento embarcado, do sistema computacional de gestão e a taxa de licença de operação do sistema.

Os custos variáveis compreendem as parcelas de combustível, manutenção (peças e serviços de oficina), pneus e recapagens, lubrificantes, lavagens e lubrificações. Pedágios também podem ser considerados como uma parcela dos custos variáveis. Sua mensuração, porém, depende da região onde o serviço de transporte é operado, uma vez que as concessões rodoviárias não estão uniformemente distribuídas pelo país.

3. ANÁLISE DE REGRESSÃO

Segundo Freund e Simon (2000), em muitas pesquisas de cunho estatístico, o objetivo principal consiste em estabelecer relações que possibilitem predizer o comportamento de uma ou mais variáveis em função de outras. Obviamente, a situação ideal seria predizer um valor de forma exata em termos de outro, porém isso raramente é possível. Na maioria dos casos, o pesquisador deverá se contentar com a predição de médias, ou valores esperados. A predição do valor médio de uma variável em termos do(s) valor(es) conhecido(s) de outra(s) variável(eis) constitui o problema da *regressão*. Exemplos de aplicações deste tipo são bastante numerosos, ocorrendo com maior frequência em áreas como administração, computação, ciências biológicas, ciências sociais e engenharia.

O termo *regressão* foi empregado pela primeira vez por Francis Galton (1822-1911), em um estudo da relação entre as alturas de pais e filhos (Freund e Simon, 2000). A análise de regressão pode ser *simples*, quando há uma variável explicativa (variável independente) ou *múltipla*, quando existem duas ou mais variáveis explicativas (variáveis independentes).

Quanto ao relacionamento entre variáveis, os modelos resultantes podem ser lineares ou não-lineares. No primeiro caso, os parâmetros são elevados somente à primeira potência, e as variáveis explicativas elevadas a qualquer potência. Já para os modelos não lineares, os parâmetros são elevados a potências superiores a um e as variáveis explicativas elevadas a qualquer potência.

Um modelo de regressão linear simples pode ser expresso da seguinte forma:

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$$

onde Y_i é a variável dependente para a observação i , α e β são os coeficientes de regressão, representando respectivamente o interceptor e a inclinação da reta, x_i a variável independente para a observação i e ε_i o erro aleatório para a observação i . Quanto ao erro aleatório, em particular, supõe-se que o erro médio de ε_i seja igual a zero; variância constante, também referida como *homocedasticidade* (Dixon e Massey, 1983); e, covariância dos erros aleatórios igual a zero (caso contrário, há problema de autocorrelação).

Além do modelo linear, outros podem ser adotados quando a equação reta não se mostra adequada ao diagrama de dispersão dos dados, como, por exemplo, logaritmo, inverso, quadrático, potência, logística e exponencial.

Para estimação dos dados o método mais utilizado é o dos *Mínimos Quadrados Ordinários* – MQO que tem como objetivo minimizar a soma de quadrado dos resíduos que representam as diferenças existentes entre os valores observados e os valores estimados pelo modelo. Após sua estimação, deve-se verificar a adequação do modelo através:

- do teste *F* (Análise da Variância – ANOVA) para avaliar sua significância, ou seja, um valor de *F* baixo indica relacionamento entre as variáveis;
- do *coeficiente de determinação ajustado* (r^2) que quanto mais próximo estiver do valor 1,000 indicará que o modelo está bem explicado;
- do *erro padrão da regressão*, o qual resultando em um valor baixo indicará um modelo bem explicado.

Para o caso da regressão múltipla, a equação descrita através de um modelo linear assume a seguinte forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i$$

para $i = 1, \dots, n$, onde Y_i é a variável dependente para a observação i ; β_0 é o interceptor; β_1, \dots, β_k os coeficientes parciais da regressão; X_{1i}, \dots, X_{ki} são as variáveis explicativas (independentes) para a observação i ; ε_i o erro aleatório para a observação i , supondo que o erro médio de ε_i seja igual a zero; variância constante; covariância dos erros aleatórios igual a zero e ε_i normalmente distribuído.

Assim como no caso da regressão linear simples, também aqui o estabelecimento do modelo é feito através do método dos Mínimos Quadrados Ordinários. A adequação do modelo é feita da mesma forma que no caso da regressão simples. Através da análise de resíduos, porém, deve ser verificada a existência do problema de multicolinearidade, ou seja, se há dependência linear entre os regressores que pode ser causada pelo pequeno número de observações utilizado no estudo. Outro elemento que pode ser agregado a análise de regressão são variáveis explicativas binárias de natureza qualitativa, conhecidas como *variáveis dummy*. Para maiores detalhes sobre os aspectos conceituais da análise de regressão são sugeridos os trabalhos de Anderson *et al* (2000), Freund e Simon (2000),

Montgomery e Runger (1999), Montgomery *et al* (1998), Kottegoda e Rosso (1997) e Dixon e Massey (1983).

4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

4.1. Pesquisa de mercado e montagem das configurações

Na etapa inicial do estudo foi realizada uma pesquisa visando identificar os modelos de veículos comerciais (caminhões) e implementos de carga (carrocerias, semi-reboques, bi-trens e rodo-trens) oferecidos no mercado nacional. Para tanto, foram consultados os *sites* das montadoras de caminhões e fabricantes de implementos, bem como alguns folhetos técnicos. Dada a grande variedade de opções, buscou-se identificar junto a cada montadora um conjunto de veículos que atendessem aos padrões necessários as configurações a serem montadas (tabela 1). Foram apuradas também especificações técnicas como: peso próprio, Peso Bruto Total Combinado (PBTC), modelo de pneu utilizado, consumo de combustível e os volumes de abastecimento de lubrificantes e o respectivo intervalo entre trocas.

Tabela 1: Modelos de veículos

Tipo	Aplicação	Modelo	Peso próprio (toneladas)	Peso Bruto Total Combinado – PBTC (toneladas)
Veículos simples 6x2	Chassi com plataforma para instalação do implemento de carga (carroceria)	MB L 1620	6,54	23
		Iveco 230E22	6,63	23
		Scania P270	7,89	23
		Volvo VM 210	6,66	23
Veículo-trator 4x2	Conjunto articulado de 5 eixos	MB Axor 2035/33	7,21	42
		Iveco Stralis HD 450 S 38T	7,26	42
		Scania P340	7,374	42
		Volvo FM 12 340	7,195	42
Veículo-trator 6x2	Conjunto articulado de 6 eixos	MB Axor 2540/33	8,662	45
		Iveco Stralis HD570 S 38T	8,47	45
		Scania R380	8,231	45
		Volvo FH 12 380	8,3	45
Veículo-trator 6x2	Conjunto bi-articulado de 7 eixos (bi-trem)	MB Axor 2544/33	8,662	57
		Iveco Stralis HD570 S 42T	8,47	57
		Scania R420	8,245	57
		Volvo FH 12 420	8,3	57
Veículo-trator 6x4	Conjunto bi-articulado de 9 eixos (rodo-trem)	MB Axor 2644	9,338	74
		Iveco Stralis HD740 S 42T	9,05	74
		Scania R480	9,55	74
		Volvo FH 12 460	9,28	74

Quanto aos implementos rodoviários foram pesquisados modelos de carrocerias para veículos simples, de semi-reboques, de bi-trens e de rodo-trens (tabela 2). Para os três últimos tipos de implemento também foi identificado o tipo de pneu utilizado.

Uma vez definidos os veículos e implementos a serem utilizados no estudo, foi feita a montagem das respectivas configurações.

Tabela 2: Modelos de implementos rodoviários

Tipo	Aplicação	Modelo	Peso próprio (toneladas)
Carroceria	Veículo simples com 3 eixos	Carga seca	1,5
		Graneleiro	2,0
		Sider	2,5
		Furgão	2,5
		Tanque	2,7
		Frigorífico	3,2
		Porta-contêiner 1x20'	1,5
Semi-reboque de 3 eixos	Conjunto articulado de 5 e 6 eixos	Carga seca	7,2
		Graneleiro	7,43
		Sider	8,7
		Furgão	7,91
		Tanque	7,4
		Frigorífico	8,5
		Porta-contêiner 1x40'	6,1
Bi-trem de 4 eixos	Conjunto bi-articulado de 7 eixos	Porta-contêiner 1x20'	4,95
		Carga seca	9,8
		Graneleiro	10,55
		Sider	12,65
		Tanque	12,6
Rodo-trem de 6 eixos	Conjunto bi-articulado de 9 eixos	Porta-contêiner 2x20'	9,63
		Carga seca	15,1
		Graneleiro	15,62

4.2. Tomada de preços

Entre os elementos necessários ao cálculo dos custos operacionais estão os preços dos veículos e implementos; salários e leis sociais; seguros, impostos, taxas; e insumos como óleo diesel, óleo lubrificante para motor, transmissão e tração, pneus e recapagens, lavagens e lubrificações. Foi feito um trabalho de tomada de preços junto a concessionárias, revendedores, fabricantes e entidades de classe. Foram cotados os preços praticados no mês de setembro de 2006 na região metropolitana de Porto Alegre.

4.3. Definição dos parâmetros operacionais

Além dos preços, o cálculo dos custos operacionais requereu o estabelecimento de parâmetros relacionados à forma de operação do serviço de transporte. Tais parâmetros compreendem o número de dias trabalhados no mês e a jornada diária de trabalho da tripulação (tabela 3); as distâncias médias cobertas por viagem, as velocidades operacionais médias (as quais se tornam usualmente um pouco maiores à medida que a distância de percurso aumenta), além do respectivo tempo em trânsito (tabela 4). Foram adotadas distâncias de 100, 200, 300, 400, 500, 750, 1000, 1500 e 2000km, que correspondem a maior parte dos deslocamentos em viagens intra e inter-estaduais no país.

Face às características das configurações de veículos considerados, a pesquisa está focada no sistema de transferência que ocorre, por exemplo, entre um remetente e um destinatário (carga completa), entre um fabricante e um centro de distribuição ou entre dois terminais de triagem e distribuição. Não foi considerado, portanto o caso de coletas e entregas operadas por empresas de carga fracionada ou operadores logísticos.

Tabela 3: Período mensal de trabalho

Parâmetro	Valor adotado
Dias trabalhados/mês	22
Horas normais/dia	8
Horas extras 50%/dia	2
Horas extras 100%/dia	2
Total horas/mês	264

Tabela 4: Tempo em trânsito associado às distâncias de percurso

Quilômetros por viagem	Velocidade Média (km/h)	Tempo trânsito (hs)
100	50	2,00
200	55	3,64
300	60	5,00
400	60	6,67
500	65	7,69
750	65	11,54
1000	70	14,29
1500	70	21,43
2000	70	28,57

4.4. Cálculo dos custos operacionais

No cálculo dos custos operacionais foram consideradas as parcelas de custo fixo e variável, cuja descrição foi feita na seção 2. Para tabulação e execução dos cálculos foi utilizado o MS-Excel. Para as parcelas de custo fixo, as premissas adotadas foram:

- *Depreciação*: foi adotado o modelo linear, com vida útil de 12 anos para veículo e equipamentos e valor de revenda correspondendo a 50% do valor inicial do bem;
- *Remuneração de capital*: considerando uma Taxa Mínima de Atratividade de 14,5% ao ano conforme valor da taxa Selic praticada em setembro de 2006;
- *Salários*: tripulação formada por um motorista remunerado de acordo com o piso salarial e demais benefícios praticados na região metropolitana de Porto Alegre;
- *Seguro facultativo* (cobertura total contra roubos e danos): valor anual correspondente a 5% do valor do bem;
- *Seguro obrigatório*: valor fixo estabelecido pelo Departamento de Trânsito;
- *IPVA*: alíquota para veículos comerciais de 1%.

No tocante as parcelas de custo variável, as premissas foram:

- *Combustível*: consumo médio informado pelas montadoras
- *Manutenção*: compreende peças e serviços de oficina. O índice adotado foi de 1,5 vezes do valor do veículo novo em 1.000.000km rodados, que corresponde ao valor médio indicado nas principais publicações especializadas;
- *Pneus e recapagens*: foi considerada uma durabilidade para o pneu novo de 100.000km mais uma recapagem com mesma durabilidade com índice de aproveitamento de 80%;
- *Lubrificantes*: óleo de motor com intervalo entre trocas de 10.000km e óleo de transmissão e tração com intervalo entre trocas de 60.000km;

- *Lavagens e lubrificações* com intervalos de 1.500 km.

4.5. Determinação das equações de custo operacional unitário total

Para cada tipo de equipamento de carga (carga seca, graneleiro, sider, furgão, tanque, frigorífico, porta-container 40' e porta-container 20') foram gerados modelos de regressão relacionando custo fixo/mês (variável dependente) com capacidade (variável independente) e custo variável (variável dependente) com capacidade (variável independente). Utilizando o aplicativo SPSS versão 10.0 foram feitas estimativas para o modelo linear, logaritmo, inverso, quadrático, cúbico, potência, composto, S, logística, crescente e exponencial, verificando-se para cada um a sua adequação através da significância (teste F), do coeficiente de determinação (r^2 ajustado) e do erro padrão da regressão. Para cada caso foram tomados os modelos mais adequados e, a partir dos respectivos parâmetros α e β , determinadas as equações relativas ao custo fixo em função da capacidade de carga e custo variável em função da capacidade de carga (tabela 6).

Tabela 6: Resultados obtidos na análise de regressão para os modelos de melhor adequação

Equipamento de carga	Custo fixo x capacidade					
	Modelo	R ² ajustado	Erro padrão	Signif. F	Constante α	Constante β
carga seca	Potência	0,92	0,05	0	2143,83	0,3967
graneleiro	Potência	0,92	0,05	0	2165,64	0,398
sider	Potência	0,92	0,05	0	1984,86	0,444
furgão	Exponencial	0,92	0,05	0	4609,18	0,022
tanque	Potência	0,93	0,04	0	2997,14	0,44
frigorífico	Exponencial	0,95	0,05	0	4600,4	0,03
porta-container 40'	Potência	0,54	0,03	0,02	230,95	1,06
porta-container 20'	Potência	0,91	0,05	0	2050,26	0,41
	Custo variável x capacidade					
	Modelo	R ² ajustado	Erro padrão	Signif. F	Constante α	Constante β
carga seca	Potência	0,97	0,05	0	0,174	0,638
graneleiro	Potência	0,97	0,05	0	0,179	0,633
sider	Linear	0,98	0,05	0	0,386	0,04
furgão	Linear	0,97	0,05	0	0,397	0,04
tanque	Potência	0,98	0,04	0	0,154	0,734
frigorífico	Linear	0,98	0,06	0	0,36	0,05
porta-container 40'	Potência	0,7	0,02	0,006	0,045	1,04
porta-container 20'	Linear	0,98	0,05	0	0,39	0,04

A equação do custo fixo foi transformada de valor mensal para valor horário (conforme o total de horas mensais definido anteriormente) para na sequência ser convertida no equivalente em custo a cada uma das distâncias de percurso consideradas. O mesmo foi feito para o custo variável, ou seja, tomando-se a equação do valor unitário e multiplicando-a pelos quilômetros percorridos. Ao final foram construídas equações do custo operacional total para cada uma das distâncias de percurso. Considerando a capacidade de carga de cada configuração pôde ser determinado o custo operacional unitário em R\$/ton de carga.

4.6. Calibração das equações de custo operacional unitário total

Na sequência, para cada distância de percurso foi gerado um modelo de regressão relacionando custo operacional unitário (R\$/ton) com a capacidade de carga útil para cada uma das configurações e distâncias de percurso. Foram rodados os modelos que

apresentaram melhor adequação na regressão anterior. Novamente foram apurados o coeficiente de determinação, o erro padrão e a significância (tabelas 7 e 8).

Tabela 7: Modelos de regressão para as diversas configurações e percursos de 100 a 500km

Percurso de 100km						
Equipamento de carga	Modelo	Constante α	Constante β	R2 ajustado	Erro padrão	Signif. F
Carga seca	Potência	31,386385	-0,433953	0,99997	0,00103	0
Graneleiro	Potência	32,172667	-0,437641	0,99996	0,00118	0
Sider	Potência	28,710688	-0,391833	0,99684	0,0082	0
Furgão	Exponencial	13,753853	-0,020656	0,99481	0,01049	0
Tanque	Potência	34,607512	-0,376518	0,99996	0,00093	0
Frigorífico	Exponencial	14,673997	-0,01706	0,99253	0,01049	0
Porta-container 40'	Potência	6,260809	0,045251	0,89291	0,00052	0,0003
Porta-container 20'	Potência	27,792252	-0,387392	0,99774	0,00708	0
Percurso de 200km						
Carga seca	Potência	60,146892	-0,429309	0,99997	0,00107	0
Graneleiro	Potência	61,659626	-0,433035	0,99997	0,00101	0
Sider	Potência	54,851218	-0,386499	0,99663	0,00836	0
Furgão	Exponencial	26,598956	-0,020436	0,99487	0,01033	0
Tanque	Potência	65,573486	-0,370201	0,99996	0,00092	0
Frigorífico	Exponencial	28,389072	-0,016912	0,99271	0,01027	0
Porta-container 40'	Potência	11,958538	0,050788	0,99093	0,00016	0
Porta-container 20'	Potência	53,182722	-0,381997	0,99739	0,00749	0
Percurso de 300km						
Carga seca	Potência	86,928433	-0,425123	0,99997	0,00097	0
Graneleiro	Potência	89,104209	-0,428816	0,99997	0,00102	0
Sider	Potência	79,279759	-0,382558	0,99649	0,00845	0
Furgão	Exponencial	38,748961	-0,020233	0,99484	0,01025	0
Tanque	Potência	93,77943	-0,364371	0,99995	0,00096	0
Frigorífico	Exponencial	41,390537	-0,016778	0,99278	0,01014	0
Porta-container 40'	Potência	17,80692	0,046132	0,99178	0,00014	0
Porta-container 20'	Potência	76,723799	-0,37702	0,99722	0,00764	0
Percurso de 400km						
Carga seca	Potência	115,861839	-0,425001	0,99997	0,001	0
Graneleiro	Potência	118,809801	-0,428827	0,99997	0,00096	0
Sider	Potência	105,68923	-0,382519	0,99646	0,00849	0
Furgão	Exponencial	51,66779	-0,020236	0,99486	0,01023	0
Tanque	Potência	125,011998	-0,364323	0,99996	0,00094	0
Frigorífico	Exponencial	55,179437	-0,016772	0,99282	0,01011	0
Porta-container 40'	Potência	23,864616	0,044613	0,9949	0,00011	0
Porta-container 20'	Potência	102,285834	-0,376985	0,99717	0,0077	0
Percurso de 500km						
Carga seca	Potência	140,287605	-0,421482	0,99997	0,00095	0
Graneleiro	Potência	143,809059	-0,425204	0,99997	0,00093	0
Sider	Potência	127,771108	-0,378696	0,99627	0,00862	0
Furgão	Exponencial	62,971908	-0,02006	0,99486	0,01015	0
Tanque	Potência	149,858279	-0,359143	0,99996	0,00089	0
Frigorífico	Exponencial	67,290759	-0,016655	0,99286	0,01001	0
Porta-container 40'	Potência	29,211422	0,044896	0,99364	0,00012	0
Porta-container 20'	Potência	123,59301	-0,37263	0,99705	0,00778	0

Tabela 8: Modelos de regressão para as diversas configurações e percursos de 750 a 2000km

Percurso de 750km						
	Modelo	Constante α	Constante β	R2 ajustado	Erro padrão	Signif. F
Carga seca	Potência	210,410654	-0,421456	0,99997	0,00096	0
Graneleiro	Potência	215,767717	-0,425289	0,99997	0,00094	0
Sider	Potência	191,656849	-0,378688	0,99625	0,00864	0
Furgão	Exponencial	94,453364	-0,020057	0,99485	0,01016	0
Tanque	Potência	224,803111	-0,359156	0,99996	0,00087	0
Frigorífico	Exponencial	100,934955	-0,016655	0,99288	0,00999	0
Container 40'	Potência	43,83423	0,044795	0,99822	0,00006	0
Container 20'	Potência	185,399257	-0,372643	0,99709	0,00773	0
Percurso de 1000km						
Carga seca	Potência	272,662883	-0,418162	0,99997	0,00092	0
Graneleiro	Potência	279,672518	-0,422096	0,99998	0,00089	0
Sider	Potência	248,105543	-0,37526	0,9961	0,00873	0
Furgão	Exponencial	123,171972	-0,019899	0,99485	0,01007	0
Tanque	Potência	288,823586	-0,354511	0,99996	0,00084	0
Frigorífico	Exponencial	131,693318	-0,016549	0,99295	0,00989	0
Container 40'	Potência	57,533165	0,044281	0,99875	0,00005	0
Container 20'	Potência	239,894246	-0,368718	0,99693	0,00785	0
Percurso de 1500km						
Carga seca	Potência	409,016825	-0,41818	0,99997	0,00092	0
Graneleiro	Potência	419,504503	-0,422088	0,99998	0,00091	0
Sider	Potência	372,168836	-0,375262	0,99609	0,00874	0
Furgão	Exponencial	184,749443	-0,019897	0,99487	0,01005	0
Tanque	Potência	433,238735	-0,354509	0,99996	0,00086	0
Frigorífico	Exponencial	197,53023	-0,016547	0,99295	0,00989	0
Container 40'	Potência	86,119947	0,044897	0,99966	0,00003	0
Container 20'	Potência	359,894924	-0,368763	0,99691	0,00787	0
Percurso de 2000km						
Carga seca	Potência	545,396756	-0,418201	0,99997	0,00091	0
Graneleiro	Potência	559,313935	-0,422077	0,99998	0,00091	0
Sider	Potência	496,236142	-0,375272	0,99611	0,00873	0
Furgão	Exponencial	246,333077	-0,019897	0,99486	0,01006	0
Tanque	Potência	577,674714	-0,354522	0,99996	0,00084	0
Frigorífico	Exponencial	263,372802	-0,016547	0,99295	0,00988	0
Container 40'	Potência	114,906419	0,044689	0,99976	0,00002	0
Container 20'	Potência	479,899094	-0,36879	0,99693	0,00786	0

Com os novos parâmetros α e β definidos na regressão foram construídas equações de custo operacional unitário total. Com estas equações, variando-se a capacidade de carga 1 a 50 toneladas foram construídas curvas de variação do custo operacional unitário (R\$/ton) em função das toneladas transportadas.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na figura 1 são mostrados os modelos de curvas do custo operacional unitário para a distância de 100km. Para as demais distâncias consideradas tal padrão se manteve.

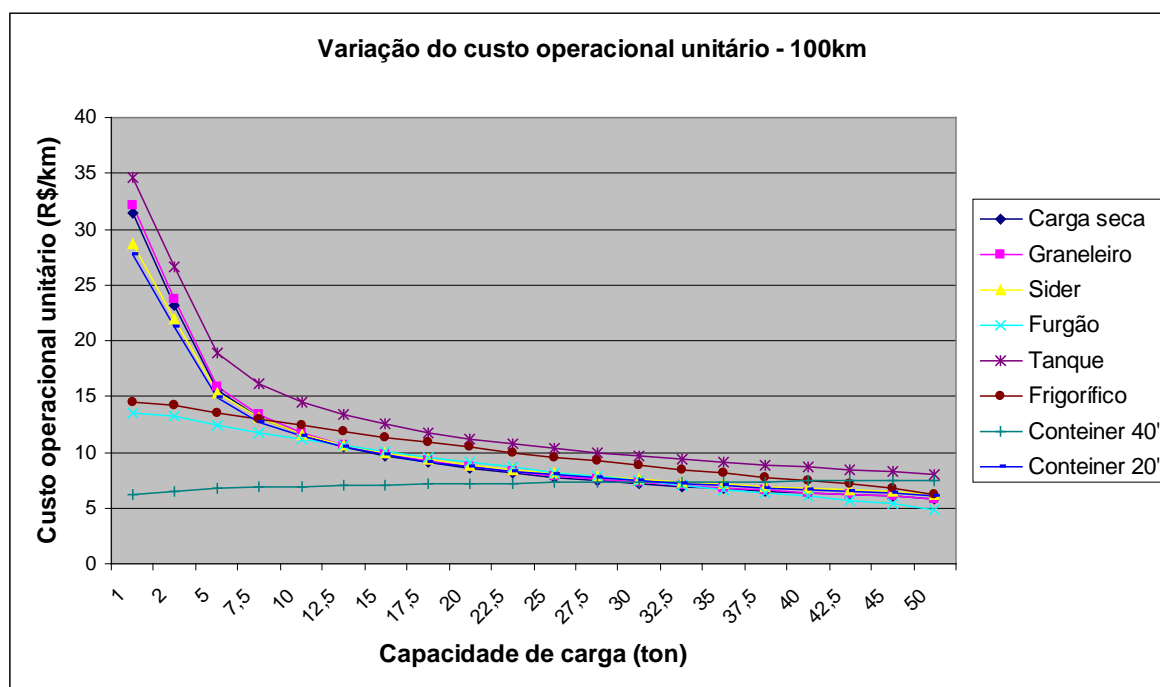


Figura 1: Variação do custo operacional unitário para percurso de 100km

Para os veículos com equipamentos do tipo carga seca, graneleiro, sider, tanque e porta-container de 20', nas faixas de quilometragem adotadas, observou-se uma significativa queda do custo operacional unitário com a carga variando de 1 a 5 toneladas, indicando elevados ganhos de escala a medida que a capacidade de carga do veículo aumenta. De 5 a 50 toneladas de carga a queda do custo operacional unitário continuou a acontecer, porém com variação menor daquela observada anteriormente. Neste grupo, pelo comportamento das curvas de variação, o equipamento do tipo tanque é o que apresenta os custos unitários totais mais altos, seguido pelos equipamentos do tipo graneleiro, carga seca, sider e porta-container 20'.

No caso dos veículos com equipamento do tipo frigorífico e furgão, a queda do custo operacional unitário com o aumento da carga transportada, não é muito significativa (a taxa de decréscimo é praticamente constante), o que pode ser explicado pela não disponibilidade de configurações bi-articuladas, resultando em menor faixa de variação da capacidade de carga e também do próprio valor do veículo e equipamento. Para o caso específico de veículo com equipamento do tipo porta-container de 40' não se observa ganho de escala com o aumento da capacidade, mas sim aumento do custo unitário total. Este fato pode ser explicado pela possibilidade de somente duas configurações poderem ser montadas neste caso.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma pesquisa para avaliação de forma comparativa da variação dos custos operacionais unitários das configurações de veículos e equipamentos de carga atualmente utilizados no país. A ferramenta de análise regressão

empregada para determinação dos modelos de estimação dos custos operacionais se mostrou bastante efetiva, confirmando sua adequação a este tipo de aplicação.

A metodologia de análise aqui apresentada pode ser de grande utilidade quando do processo de definição de lotes de transferência que apresentem melhor relação de custo, conforme o tipo e capacidade do veículo, bem como da distância de percurso. Outra possibilidade de aplicação ocorre em estudos em que é comparado o desempenho do custo operacional unitário do transporte rodoviário com aqueles apresentados por outros modais de transporte. Deve-se ressaltar que não foram considerados custos indiretos, como é o caso dos custos administrativos por haver significativas variações de empresa para empresa; do gerenciamento de risco com rastreadores dado as várias modalidades de sistema e o custo com pedágios devido a não uniformidade de distribuição do programa de concessões na malha rodoviária. Porém, em futuros desenvolvimentos estes elementos podem ser agregados ao modelo de custos conforme as particularidades do ambiente de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, A. C.; Novaes, A. G. (1994) *Logística Aplicada: Suprimentos e Distribuição*. Pioneira, São Paulo.
- Anderson, D. R.; Sweeney, D. J.; Williams, T. A. (2000) *Estatística Aplicada à Administração e Economia*. Pioneira, São Paulo.
- Ballou, R. H. (1993) *Logística Empresarial*. Atlas, São Paulo.
- Ballou, R. H. (1999) *Business Logistics Management*. Prentice-Hall, New York.
- Dixon, W. J.; Massey, F. J. (1983) *Introduction to Statistical Analysis*. McGraw-Hill, New York.
- Freund, J. E.; Simon, G. A. (2000) *Estatística Aplicada*. Bookman, Porto Alegre.
- Kottegoda, N. T.; Rosso, R. (1997) *Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers*. McGraw Hill, New York.
- Montgomery, D. C.; Runger, G. C. (1999) *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley, New York.
- Montgomery, D. C.; Runger, G. C.; Hubele, N. F. (1998) *Engineering Statistics*. John Wiley, New York.
- Scheaffer, R. L.; McClave, J. T. (1982) *Statistics for Engineers*. Duxbury Press, Boston.
- Valente, A.; Pasaglia, E.; Novaes, A. G. (1997) *Gerenciamento de Frotas e Transportes*. Pioneira, São Paulo.

Endereço dos autores

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção
Escola de Engenharia/UFRGS
Av. Oswaldo Aranha, 99, 5º andar, sala Lastran
Bairro Centro – Porto Alegre, RS
CEP: 90035-190
e-mail: roco@producao.ufrgs.br