

CARACTERIZAÇÃO DA FROTA DE CAMINHÕES NO SISTEMA ANHANGUERA-BANDEIRANTES

André Luiz Barbosa Nunes da Cunha

Márcia Lika Mon-Ma

Juliana Jerônimo de Araújo

Cintia Yumiko Egami

José Reynaldo Setti

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Este estudo tem como objetivo caracterizar o desempenho dos caminhões que trafegam atualmente no corredor formado pelas rodovias Anhanguera e Bandeirantes, no estado de São Paulo. O desempenho dos caminhões foi caracterizado em termos de relação massa/potência, e os dados usados foram coletados em balanças rodoviárias fixas instaladas nestas rodovias, em 2004 e 2005. Comparando-se os resultados obtidos com os de estudos anteriores, realizados ao longo dos últimos 30 anos, pode-se perceber que, com base nas relações massa/potência calculadas, de uma forma geral a potência média dos motores dos caminhões aumentou e a massa bruta total dos caminhões diminuiu, resultando numa melhora do desempenho dos caminhões.

ABSTRACT

This paper tries to describe performance characteristics of trucks on the Anhanguera and Bandeirantes highway corridor, in the state of São Paulo, in Brazil. Truck performance was characterized in terms of mass/power ratio and the data were collected in fixed weigh stations on these two highways in 2004 and 2005. A comparison of the results obtained with results of previous studies ranging from 1978 to 1990 suggests that the average power of the truck engines has been increasing and the vehicle gross mass has been decreasing, which results in improved performance for trucks, as measured by the mass-to-power ratios.

1. INTRODUÇÃO

A fim de se reduzir os custos de transportes, existe uma pressão considerável por parte dos operadores no sentido de liberação do tráfego de caminhões maiores, mais pesados e com maior número de eixos, tais como as combinações de veículos de cargas (CVC), nas rodovias brasileiras. Esse movimento ficou ainda aparente com a aprovação da Resolução 164/2004, em que as CVCs ficam dispensadas de circular portando a Autorização Especial de Trânsito (Resolução 68/98). Por isso, existe uma percepção – ou talvez, uma expectativa – de que a tendência seja de crescimento no tráfego de caminhões longos e pesados nas rodovias brasileiras.

O aumento da massa e comprimento dos caminhões pode ter consequências deletérias sobre a fluidez do tráfego se o desempenho das CVCs for inferior ao dos demais caminhões. Por isso, motores mais potentes têm sido fabricados pela indústria automotiva, a fim de melhorar o desempenho desse tipo de veículo e acompanhar as mudanças nas características físicas dos caminhões. Ainda que, no Brasil, os motores mais robustos tenham potência em torno de 400 cv (300 kW), nos Estados Unidos, motores com potências maiores do que 600 hp (450 kW) já se encontram disponíveis desde 1998 (Allen *et al.*, 2000) .

Considerando-se que tanto o tráfego de caminhões longos e pesados nas rodovias quanto a potência nominal dos motores têm aumentado, este trabalho tem como objetivo quantificar e caracterizar os caminhões típicos que trafegam atualmente nas rodovias do estado de São Paulo, em termos da sua parcela de participação na composição do tráfego e da sua relação

massa/potência a partir de dados coletados em balanças rodoviárias fixas, que operam continuamente.

2. O DESEMPENHO DOS CAMINHÕES

A relação massa/potência está relacionada com o desempenho de veículos automotores e, por isso, afeta diretamente a perda de velocidade dos caminhões em rampas ascendentes. O grande interesse na caracterização da relação massa/potência dos caminhões brasileiros reside no fato de que esse parâmetro constitui um dos dados de entrada dos principais modelos de simulação de tráfego, tais como TWOPAS, TRARR, CORSIM e INTEGRATION.

No Brasil, os primeiros esforços no sentido de determinar relações massa/potência para caminhões remontam à década de 1970, quando o DNER estimou as relações massa/potência com base nos dados de potências nominais dos fabricantes e em testes efetuados na BR-277, no Paraná (Kabbach, 1992). Nesse estudo, foi verificado que o caminhão dotado de terceiro eixo representava entre 40% e 60% da frota nacional de caminhões e que sua relação massa/potência tinha um valor bem próximo à do caminhão semi-reboque. Por sua vez, a presença de caminhões vazios representava cerca de 30% dos caminhões dotados de terceiro eixo e dos semi-reboques. Com base nesses dados, estimou-se uma relação massa/potência de 180 kg/kW como representativa da frota nacional de caminhões (DNER, 1979). A Tabela 1 mostra as relações massa/potência encontradas para caminhões brasileiros na década de 1970.

Tabela 1: Relação massa/potência média dos caminhões brasileiros em 1978 (DNER, 1979)

<i>Tipo de caminhão</i>	<i>Relação massa/potência nominal média</i>	
	<i>kg/cv</i>	<i>kg/kW</i>
Rígido com 2 eixos	80	110
Rígido com 3 eixos	126	175
Semi-reboque	141	195

No início da década de 1990, com base em dados de massa bruta total e potência publicados na Revista Transporte Moderno, Kabbach (1992) verificou que a relação massa/potência de 180 kg/kW continuava a ser um valor representativo para a frota nacional de caminhões. Contudo, como esse estudo não se baseou em dados obtidos em rodovias, existe a possibilidade de que a relação massa/potência obtida não reflita o desempenho real dos veículos da época (Melo, 2002).

Os estudos mais recentes que tratam da caracterização da relação massa/potência dos caminhões brasileiros incluem os realizados por Demarchi (2000), com dados coletados entre 1997 e 1998 em balanças instaladas na Rodovia Anhanguera (SP-330); por Melo (2002), com dados coletados em 2000, em balanças instaladas numa rodovia de pista simples (SP-225); e por Demarchi e Pierin (2002), com dados sobre caminhões canavieiros coletados em 1995 pelo DER-SP, com balanças móveis na região de Ribeirão Preto. Dentre os dois primeiros estudos, o trabalho de Demarchi (2000) é o mais abrangente, pois apresenta dados de 6.744 pesagens.

A Tabela 2 apresenta, para quatro tipos de caminhões definidos por Demarchi (2000), os valores do 85^o percentil da massa e a potência, que foram estimados a partir da razão entre a massa e a relação massa/potência correspondentes ao 85^o percentil das distribuições de massa e de massa/potência obtidas no estudo em questão. A Tabela 3 mostra os valores dos 50^o e 85^o

percentis da relação massa/potência encontrados para caminhões canavieiros por Demarchi e Pierin (2002). Na Tabela 2, caminhões rígidos leves são veículos unitários dotados de dois eixos isolados; os rígidos pesados são veículos unitários com um eixo dianteiro e um eixo duplo traseiro; os articulados leves são os caminhões constituídos de cavalo mecânico e um semi-reboque com um ou dois eixos; e, por fim, os articulados pesados são os caminhões constituídos de cavalo mecânico e semi-reboque com três eixos.

Tabela 2: Relação massa/potência dos caminhões na SP-330 (Demarchi, 2000)

<i>Tipo de caminhão</i>	<i>Potência (kW)</i>	<i>m₈₅ (kg)</i>
Rígido leve	103,3	10.469
Rígido pesado	111,2	21.850
Articulado leve	196,7	27.831
Articulado pesado	242,7	42.120

Na Tabela 3, os caminhões rígidos são veículos unitários de dois ou três eixos e comprimento variando entre 9 e 13 metros. O caminhão+reboque é a composição formada por um caminhão unitário e um reboque, que possui entre cinco e seis eixos. Esta combinação é normalmente conhecida como “romeu-e-julietta”. O treminhão é a composição formada por um caminhão rígido e dois reboques, que possui sete eixos no total (Demarchi e Pierin, 2002).

Tabela 3: Relação massa/potência dos caminhões canavieiros (Demarchi e Pierin, 2002)

<i>Tipo de caminhão</i>	<i>Massa/potência (kg/kW)</i>	
	<i>M/P₅₀</i>	<i>M/P₈₅</i>
Caminhão Rígido	259	298
Caminhão+Reboque	330	382
Treminhão	294	304

3. COLETA DE DADOS

Para a determinação da relação massa/potência para este estudo foram obtidos dados sobre a massa e o modelo dos caminhões em balanças rodoviárias. As referidas balanças realizam uma pesagem dinâmica dos caminhões, com verificação não somente da massa de cada eixo isolado, como também da massa de grupos de eixos e da massa bruta total dos veículos. Os pontos de localização das balanças estão listados na Tabela 4. Todas as coletas foram feitas em dias úteis da semana




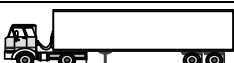
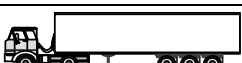
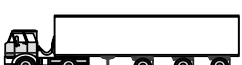
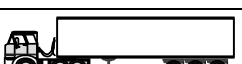

Tabela 4: Balanças rodoviárias usadas na coleta de dados

<i>Localização da balança</i>	<i>Data da coleta</i>	<i>Dia da semana</i>	<i>Tamanho da amostra</i>
SP-330 (km 37)	2/3/2005	Quarta-feira	787
SP-330 (km 53)	1/3/2005	Terça-feira	968
SP-330 (km 208)	7/10/2004	Quinta-feira	209
SP-330 (km 208)	16/2/2005	Quarta-feira	352
SP-348 (km 40)	9/3/2005	Quarta-feira	1.010
SP-348 (km 58)	8/3/2005	Terça-feira	1.901

No total, foram coletados dados de 5.227 caminhões divididos em sete categorias, de acordo com o número de eixos. A Tabela 5 lista a nomenclatura e representação pictográfica das configurações observadas. As representações pictográficas adotadas são as apresentadas por Widmer (2004). A Tabela 5 também apresenta o tamanho da amostra, a frequência relativa e a potência média estimada para cada classe observada.

Uma vez que a nomenclatura adotada pelos operadores das balanças não é padronizada, optou-se por usar a nomenclatura sugerida pelo DNIT e DNER, que é a mesma utilizada pela AutoBAN, concessionária responsável pela operação de trechos onde cerca de 90% dos dados foram coletados.

Tabela 5: Nomenclatura e caracterização das configurações observadas

<i>Eixos</i>	<i>Configuração</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Amostra</i>	<i>Frequência</i>	<i>Potência Média</i>
2		2CC e 2C	1.598	30,6%	137 cv (101 kW)
3		3C	1.565	29,9%	179 cv (132 kW)
		2S1	26	0,5%	228 cv (168 kW)
4		2S2	177	3,4%	319 cv (235 kW)
5		2S3	1.257	24,0%	347 cv (255 kW)
		2I3	55	1,1%	349 cv (257 kW)
6		3S3	361	6,9%	369 cv (271 kW)
7		3T4	136	2,6%	381 cv (280 kW)
Outros		-	52	1,0%	-
TOTAL			5.227	100,0%	

Quanto ao tipo de veículo, a Tabela 5 mostra que 60,5% dos veículos observados são veículos rígidos e 39,5% são veículos articulados. Dentre os caminhões articulados, o caminhão do tipo 2S3 foi o mais representativo da amostra (71,4%), sendo que os CVCs representam 7,8% dos caminhões articulados e 2,6% do total.

Durante as coletas de dados, o modelo de cada caminhão observado foi anotado para que, posteriormente, fosse feito o levantamento da potência dos caminhões observados através de dados contidos em catálogos, publicações especializadas nesse tipo de veículo e também, através do *website* dos fabricantes. Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que a potência nominal dos caminhões, em geral, aumentou. Dentre os dados coletados, foram observados caminhões com potências nominais de até 460 cv (338 kW).

Considerando o estudo realizado por Demarchi (2000), pode-se afirmar que a configuração de eixos dos caminhões observados foi mantida. Entretanto, algumas das frequências observadas sofreram alterações significativas. Por exemplo, as configurações 2C e 2CC (correspondentes

à configuração 11 no referido estudo) aumentaram de 17,7% da amostra em 2000 para 30,6% em 2005. Em contrapartida, a configuração 3C (correspondente à configuração 12) sofreu uma redução substancial, passando de 48,6% em 2000 para 30,0% em 2005. Especial atenção deve ser dada à configuração 3T4, que em 2000 não havia sido observada e em 2005 representa 2,6% da amostra.

4. RESULTADOS

A Figura 1 apresenta as distribuições acumuladas observadas das massas brutas totais e, a Figura 2, as distribuições acumuladas das relações massa/potência dos principais tipos de caminhões observados nas balanças. Pode-se perceber que, de uma forma geral, a relação massa/potência dos caminhões diminuiu nos últimos anos. Por exemplo, o caminhão 3C, que antes apresentava uma relação massa/potência de 160 kg/kW para o 50º percentil (Demarchi, 2000), passou a apresentar uma relação de 96 kg/kW, uma redução de 40%.

A Tabela 6 apresenta a evolução da relação massa/potência entre 2000 e 2005, em relação à potência, m_{85} (massa bruta correspondente ao 85º percentil), m/P_{15} (15º percentil da relação massa/potência) e m/P_{85} (85º percentil da relação massa/potência). Os valores de potência foram calculados a partir da divisão da massa (m_{85}) pela respectiva relação da massa/potência (m/P_{85}), para possibilitar uma comparação direta com os resultados encontrados em Demarchi (2000).

Tabela 6: Evolução da relação massa/potência e potência entre 2000 e 2005

Eixos	Nomenclatura	2000				2005			
		m_{85} (kg)	m/P_{15} (kg/kW)	m/P_{85} (kg/kW)	Potência (kW)	m_{85} (kg)	m/P_{15} (kg/kW)	m/P_{85} (kg/kW)	Potência (kW)
2	2C e 2CC	10.469	58	101	104	9.592	48	89	108
3	3C	21.850	103	197	111	20.690	66	155	133
	2S1	19.535	65	172	114	16.643	63	106	158
4	2S2	28.029	75	138	203	28.864	66	117	247
5	2S3	41.542	118	172	242	42.768	65	166	258
	2I3	46.554	157	175	266	45.317	66	179	253
6	3S3	46.482	131	185	251	47.110	73	175	269
7	3T4	—	—	—	—	60.773	76	220	277

Observa-se que as relações massa/potência, tanto para o 15º e o 85º percentil, diminuíram em relação aos dados anteriores. Por exemplo, o caminhão 2S3 teve uma redução 45,3% para m/P_{15} , que passou de 118 kg/kW, em 2000, para 65 kg/kW, em 2005. Para m/P_{85} a redução foi de 3,7%, passando de 172 kg/kW, em 2000, para 166 kg/kW, em 2005.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 6, seriam sete as categorias mais representativas dos caminhões observados. Entretanto, alguns modelos de simulação de tráfego rodoviário, tais como o TWOPAS e o CORSIM, dentro de suas limitações, permitem ao usuário especificar no máximo quatro categorias de caminhões para serem utilizadas durante a simulação. Nesse caso, uma sugestão para a divisão dos caminhões em quatro categorias é apresentada na Tabela 7. Essa sugestão tem como base a similaridade das distribuições acumuladas da relação massa/potência.

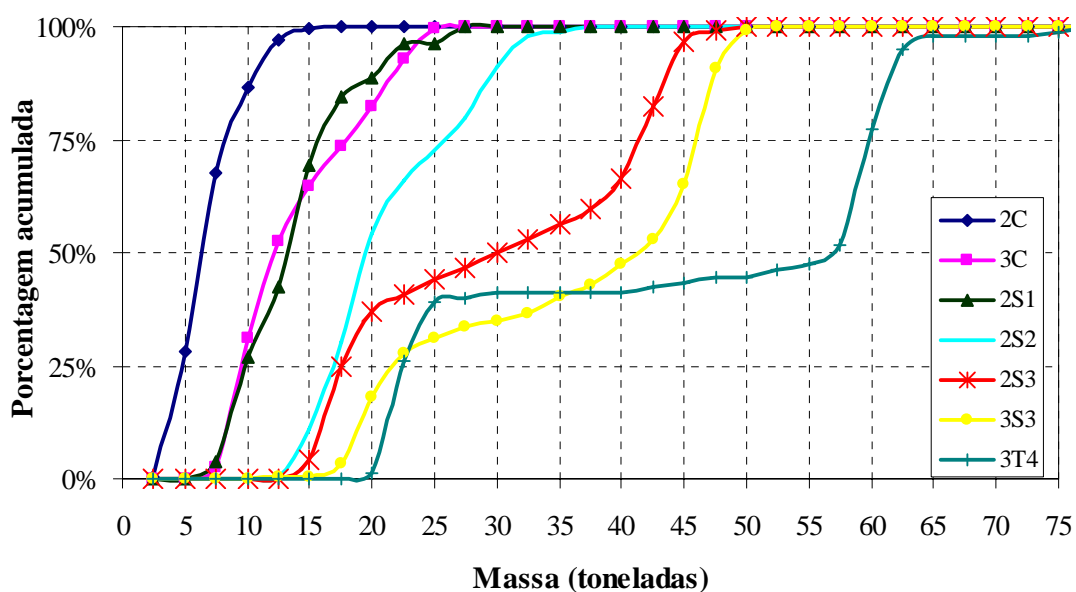


Figura 1: Distribuição acumulada da massa bruta total dos caminhões observados

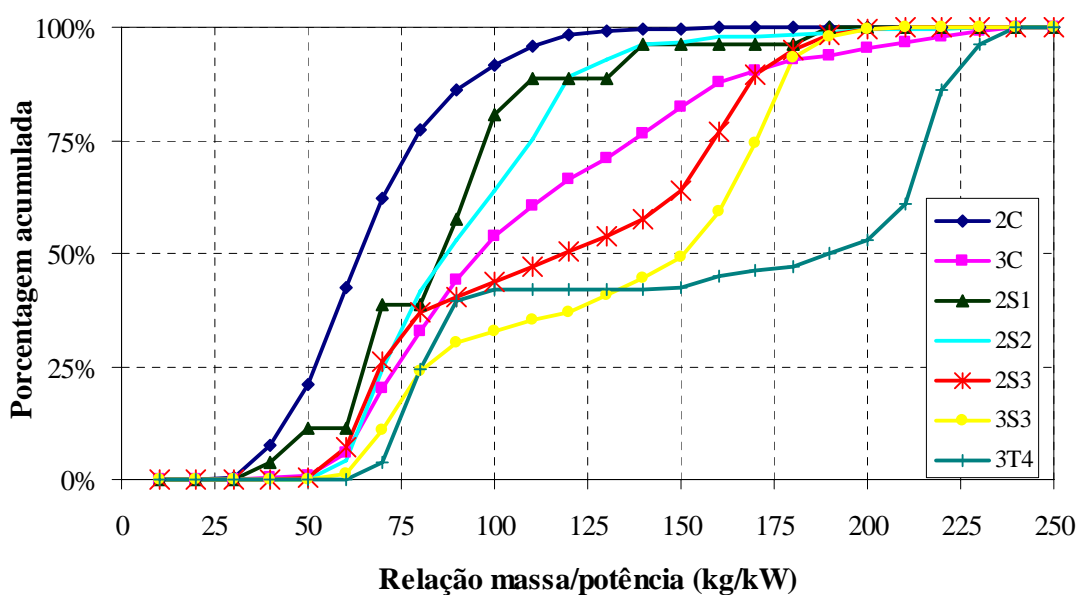


Figura 2: Distribuição acumulada da relação massa/potência dos caminhões observados

Tabela 7: Sugestão para categorias de caminhões e seus respectivos valores de massa/potência

Classe	Eixos	Caminhões	Massa (kg)		Massa/potência (kg/kW)	
			Média	Mediana	Média	Mediana
Leves	2	2CC e 2C	6.771	6.280	67	64
Médios	3 e 4	3C, 2S1 e 2S2	14.566	13.005	107	95
Pesados	5 e 6	2S3, 2I3 e 3S3	31.014	32.680	120	127
Extra-pesados	7 ou mais	3T4	43.070	56.840	154	191

A Figura 3 apresenta as distribuições acumuladas da relação massa/potência para as categorias sugeridas. Observa-se que cada uma das curvas obtidas tem um perfil bem definido, principalmente a categoria dos caminhões leves. Apesar das demais curvas encontrarem-se concentradas até o 40º percentil, a partir desse ponto cada distribuição segue um perfil distinto, justificando a escolha de tais categorias. A Figura 4 apresenta a distribuição acumulada de massa bruta total das categorias sugeridas.

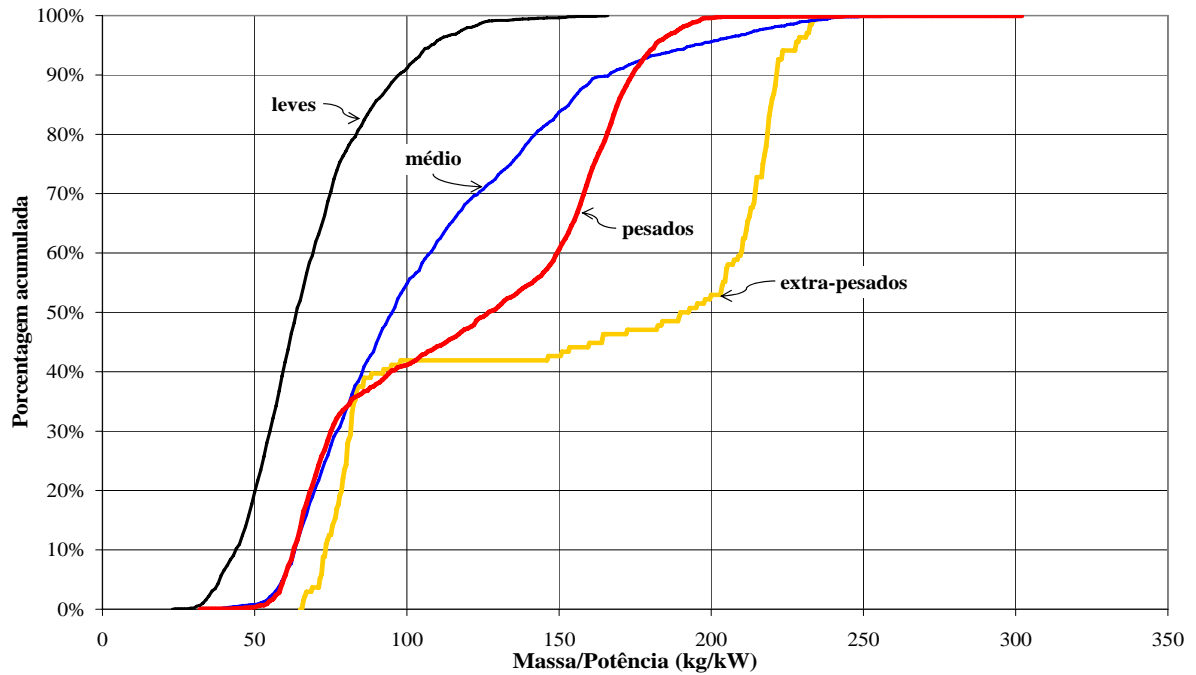


Figura 3: Distribuição acumulada da relação massa/potência das categorias sugeridas

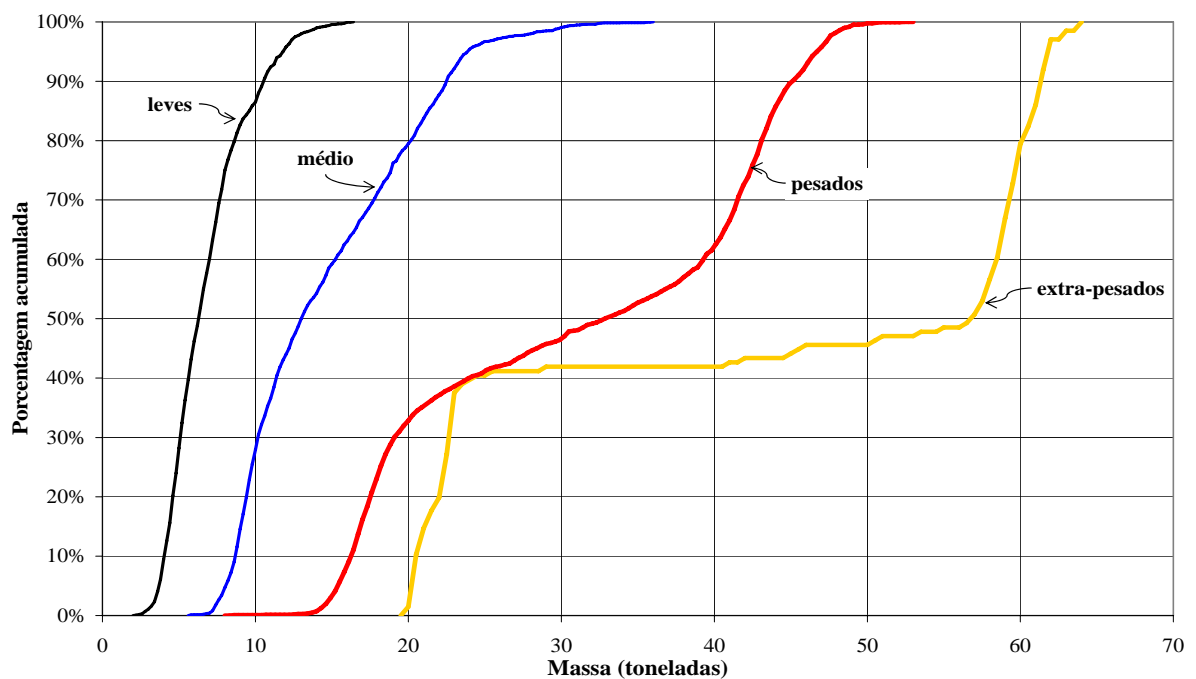


Figura 4: Distribuição acumulada da massa bruta total das categorias sugeridas

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que exista uma percepção de que o tráfego de combinações de veículos de cargas (CVCs) nas rodovias vem aumentando nos últimos anos, a análise dos dados coletados em seis balanças instaladas no sistema Anhanguera-Bandeirantes, no estado de São Paulo, mostra que a participação desse tipo de veículo na composição de veículos ainda é incipiente, quando comparada a de outros tipos de caminhões, ficando abaixo de 3% do total. Os dados coletados indicam que, de uma forma geral, o desempenho médio dos caminhões brasileiros medido em termos da relação massa/potência melhorou, comparativamente aos dados disponíveis para estudos similares realizados em 1978, 1990 e 2000. Essa melhora no desempenho dos caminhões se deve a dois fatores: o aumento da potência média dos motores dos caminhões mais novos e a diminuição do número de veículos infratores (que trafegam com carga máxima acima do permitido na legislação) que ocorreu graças ao efeito da fiscalização constante, como a existente no sistema Anhanguera-Bandeirantes. Ainda que essas conclusões não possam ser aplicadas a trechos onde a fiscalização é inexistente ou muito esporádica, é inegável que existe uma tendência no sentido da redução da relação massa/potência dos caminhões no Brasil.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada por recursos oriundos da FAPESP, CAPES e CNPq, cujo apoio os autores agradecem. Os autores também agradecem às concessionárias de rodovias Intervias e AutoBAN, pela disponibilização dos dados de balanças, e ao Prof. Dr. João Alexandre Widmer, da EESC-USP, pelas sugestões fornecidas para a elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. W., Harwood, D., Chrstos, J. P. e Glauz, W. D. (2000) *The Capability and Enhancement of VDANL and TWOPAS for Analyzing Vehicle Performance on Upgrades and Downgrades Within IHSDM*. Report No. FHWA-RD-00-078. USDOT, Federal Highway Administration. <http://www.tfhrc.gov/safety/00-078.pdf> (Acessado em 07/10/2004).
- Demarchi, S. H. (2000) *Influência dos Veículos Pesados na Capacidade e Nível de Serviço de Rodovias de Pista Dupla*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 166 p.
- Demarchi, S. H. e I. Pierin (2002) *Impacto da Sobrecarga no Desempenho de Caminhões Canavieiros em Rampas Ascendentes*. Transporte em Transformação VI – Trabalhos Vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica 2001. Capítulo 5, p. 91-107.
- DNER (1979) *Instruções para Implantação de Terceiras Faixas*. Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Rio de Janeiro. Citado por Kabbach (1992).
- Kabbach, F. I. J. (1992) *Contribuição para o Estudo de Implantação de Faixas Adicionais em Rampas Ascendentes de Rodovias de Pista Simples*. Tese (Doutorado). Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. 333 p.
- Melo, R. A. (2002) *Faixas Adicionais para Aclives de Rodovias Brasileiras*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 175 p.
- Resolução nº 68 (23/09/1998) *Requisitos de segurança necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga-CVC, a que se referem aos artigos 97, 99 e 314 do Código de Trânsito Brasileiro – CTB e os §§ 3º e 4º dos artigos 1º e 2º, respectivamente, da Resolução 12/98 – CONTRAN*. CONTRAN, Brasil.
- Resolução nº 164 (10/07/2004) *Acresce Parágrafo único ao artigo 1º da Resolução CONTRAN nº 68/98*. CONTRAN, Brasil.
- Widmer, J. A. (2004) Proposta de Nomenclatura de Caminhões. *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Volume I, p. 624 – 635. Florianópolis, SC.

André Luiz Barbosa Nunes da Cunha (acunha@sc.usp.br)

Márcia Lika Mon-Ma (lika@sc.usp.br)

Juliana Jerônimo de Araújo (july@sc.usp.br)

Cíntia Yumiko Egami (cintiaye@sc.usp.br)

José Reynaldo Anselmo Setti (jrasetti@usp.br)