

SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE ANTITRAVAMENTO DOS FREIOS (ABS) NA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS.

**Juan Carlos Horta Gutiérrez, horta@demec.ufmg.br¹
Antônio Carlos Canale, canale@sc.usp.br²
João Henrique Botelho, joaoh.botelho@hbr.haldex.com³**

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte -MG

²Escola de Engenharia de São Carlos-USP, SMM, Av. Trabalhador São-carlense 400, Centro, CEP 13566-590, São Carlos - SP

³Haldex do Brasil Indústria e Comércio Ltda, Rua Carlos Pinto Alves 29, Jardim Aeroporto, CEP 04.630-030, São Paulo - SP

Resumo: *Estudo que oferece subsídios para o planejamento estratégico e as projeções futuras de desenvolvimento de sistemas de antitravamento dos freios (ABS) para serem utilizados nas combinações veiculares de carga brasileiras. O objetivo é a otimização da relação custo-benefício e o aumento da segurança durante a utilização deste tipo de veículo e durante a produção e uso de componentes do sistema de freio. Aqui são avaliadas diferentes configurações de sistema de freio ABS para a sua utilização em combinações veiculares de carga (CVC) utilizadas no Brasil. Para o estudo foi desenvolvido um modelo matemático e um programa de simulação, modificados para as diferentes configurações e condições operacionais consideradas, incluindo o efeito da utilização da suspensão em “tandem” nos eixos traseiros do cavalo mecânico e dos semi-reboques. Este tipo de suspensão é a mais utilizada atualmente pelos fabricantes de implementos rodoviários brasileiros. No trabalho são apresentadas comparações e discussões sobre o efeito das várias configurações e condições de uso. Tudo isto permite indicar quais são as configurações de ABS e condições operacionais mais favoráveis do ponto de vista da relação custo-benefício e da segurança. O estudo é muito importante para o incremento da segurança e da eficiência no uso do transporte rodoviário de cargas. Aqui são considerados aspectos técnicos, legislativos, econômicos, de mercado, e de impacto social. Os resultados obtidos oferecem subsídios para as futuras projeções de desenvolvimento de sistemas de freio ABS para os implementos rodoviários produzidos no Brasil. A pesquisa é um exemplo de parceria entre os setores acadêmicos e industrial para o desenvolvimento de produtos que visam contribuir para o aumento da segurança veicular nas rodovias brasileiras.*

Palavras-chave: *indústria automotiva, implementos rodoviários, sistema de freio, freio ABS, eficiência da frenagem, combinações veiculares de carga, desenvolvimento de produto.*

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade observa-se no Brasil a tendência ao uso crescente de veículos combinados pesados e longos (compostos por mais de duas unidades veiculares) no transporte rodoviário de cargas. O desenvolvimento acelerado da agroindústria no país e o aumento das exportações têm condicionado a preferência por este tipo de veículo que permite transportar maiores cargas a menores custos. Observa-se também um aumento da velocidade média no transporte das cargas como resultado do aumento da potência dos motores dos veículos tratores e pela melhoria das rodovias nos últimos anos.

Neste contexto, apresenta-se como de muita relevância o problema do comportamento dinâmico do veículo durante as frenagens e, principalmente, o problema da estabilidade direcional do veículo combinado durante frenagens de emergência como mostrado em Canale (1989) e Horta (1999). Meios que permitam se garantir a estabilidade da composição e a rápida frenagem sem o travamento das rodas e sem perda da dirigibilidade e da estabilidade tornam-se imprescindíveis nos veículos comerciais pesados combinados.

Um dos meios mais eficazes para se garantir a estabilidade e a dirigibilidade em frenagens de emergência, principalmente em pista molhada, é o Sistema de Antitravamento dos Freios (ABS, siglas em inglês). Este sistema já é

largamente utilizado nos principais centros automotivos do mundo, mas, infelizmente, no Brasil, diferentemente ao que ocorre em outras partes do mundo, como na Europa, o uso de sistemas ABS ainda é muito limitado, principalmente nos reboques e semi-reboques. Mais de 90 % da frota brasileira de caminhões não tem ABS como indicado em Lucas (2004). Isto pode estar influenciando as alarmantes estatísticas sobre o alto número de acidentes envolvendo veículos comerciais pesados e provocados por perda do controle do veículo durante frenagens.

Neste contexto seria de grande importância avaliar as possibilidades reais do uso em larga escala de sistemas ABS nos reboques e semi-reboques de fabricação nacional. Os reboques e semi-reboques, como mostrado em Horta (2006), são na sua maioria produzidos com tecnologia nacional e a mesma deve ser adaptada para incluir o uso do ABS. Já no caso dos caminhões e veículos tratores esta tecnologia pode ser obtida nas matrizes das montadoras instaladas no Brasil.

Hoje no mercado brasileiro têm-se disponíveis vários sistemas e configurações de freios e vários tipos de sistemas ABS para serem utilizados em Combinações Veiculares de Carga (CVC's). Uma das empresas líderes no fornecimento de sistemas ABS para o mercado brasileiro é a Haldex do Brasil Indústria e Comércio Ltda. Na atualidade esta empresa tem disponíveis cinco tipos de configurações de sistemas ABS para serem utilizados em semi-reboques e CVC's em geral e que estão sendo comercializadas. No entanto, não se possuem estudos e avaliações sobre a relação custo - benefício de cada configuração, que permitam avaliar cada configuração de ABS e dar subsídios para o planejamento estratégico, o desenvolvimento tecnológico, e a comercialização destes sistemas. Estudos deste tipo podem ajudar a definir quais são os sistemas e configurações de ABS mais apropriados às condições de operação brasileiras, passando pela identificação do modelo padrão de operação dos freios de veículos combinados no Brasil; pela avaliação da adequação das normas, leis e padrões utilizados na certificação e homologação dos veículos, etc.

A definição de quais são os tipos de sistema ABS mais apropriados às condições de operação brasileiras pode ser realizada através da modelagem, a simulação e a análise de dados sobre o comportamento dinâmico dos veículos durante a frenagem, como mostrado em Fernandes (1994), Horta (1999), Polito (2004), Allen (1994), Borges (1994). Também considerando aspectos técnicos e legislativos, aspectos econômicos, de mercado e de impacto social como mostrado em Horta (2006).

A pretensão final deste trabalho é oferecer subsídios para o planejamento estratégico e o desenvolvimento tecnológico na fabricação, operação, assistência técnica e manutenção de sistemas ABS na Empresa Haldex do Brasil e para a necessária mudança da legislação brasileira de freios com relação ao uso de ABS em veículos combinados comerciais pesados e longos.

2. METODOLOGIA

Na pesquisa é realizada uma ampla revisão da literatura científica visando à obtenção das informações necessárias para o desenvolvimento do trabalho. Também um estudo e análise da legislação atual vigente sobre o uso de sistemas ABS no sistema de freios de reboques e semi-reboques no Brasil. Isto inclui a revisão dos métodos de certificação dos componentes do sistema de freios, de homologação da composição, dos testes em pista, de operação e de manutenção do sistema. Vários métodos de coleta de dados são utilizados, incluindo a análise de dados experimentais e de pesquisas.

Também é efetuada uma análise das necessidades gerais e específicas do mercado Brasileiro, considerando-se os aspectos sociais, econômicos, da legislação atual e futura (prevista) bem como da necessidade de novas tecnologias e de recursos humanos com o uso extensivo do ABS nos reboques e semi-reboques. Para isto ter-se-á o auxílio dos estudos e visão de mercado da empresa envolvida e da participação no trabalho dos seus especialistas nessa área.

A avaliação do efeito dos sistemas ABS em CVC's é realizada teoricamente através de simulações em computador partindo da modelagem matemática indicada em Polito (2004), Polito (2005) e Brossi (2002) que permite obter o desempenho na frenagem de um "bitrem" (7 eixos e Peso Bruto Total Combinado (PBTC) de 57 toneladas) através da relação das forças de frenagem com a pressão no circuito de freio. Uma planilha de cálculo baseada neste modelo matemático foi desenvolvida para este fim. A planilha foi modificada e adaptada para a simulação do desempenho na frenagem com cada uma das configurações de ABS consideradas. A ferramenta de cálculo mostrou-se válida para um estudo comparativo deste tipo, já que as condições iniciais para as simulações são as mesmas, variando somente o tipo de configuração de sistema ABS a estudar.

Nas simulações é utilizado um cavalo de três eixos com sistema ABS em todas as rodas (sistema de 6 sensores e 6 válvulas moduladoras (sistema 6S 6M) – controle individual das rodas ou controle total). O comportamento da combinação veicular durante a frenagem é simulado com a atuação por separado de cinco configurações de sistemas ABS para os semi-reboques (configuração de ABS variável).

As cinco configurações de sistemas ABS consideradas são as seguintes:

2S 1M: Dois sensores, um em cada roda do segundo eixo do semi-reboque, e uma só válvula moduladora para ambas as rodas desse eixo (controle pelo eixo).

2S 2M: Dois sensores, um em cada roda do segundo eixo do semi-reboque e duas válvulas moduladoras, uma para cada roda desse eixo (controle pelos lados).

4S 2M: Quatro sensores, um em cada roda dos dois eixos do "tandem" e duas válvulas moduladoras, uma para as duas rodas de cada lado (controle pelos lados).

4S 3M: Quatro sensores, um em cada roda dos dois eixos do "tandem" e três válvulas moduladoras, sendo que duas válvulas são para controlar, por separado, as duas rodas do segundo eixo do "tandem" (controle pelos lados) e uma para as duas rodas do primeiro eixo (controle pelo eixo).

4S 4M: Quatro sensores, um em cada roda dos dois eixos do “tandem” e quatro válvulas moduladoras, uma para cada roda (controle por roda).

Logicamente, quanto maior o número de sensores e válvulas moduladoras maior é o custo do sistema, o que nem sempre é acompanhado de um aumento proporcional da eficiência na frenagem da combinação veicular. Por isso a necessidade de realizar a avaliação mencionada anteriormente sobre custo – benefício de cada configuração de ABS para unidades rebocadas em CVC’s.

Um gráfico com as curvas de eficiência da frenagem para cada configuração será montado para fins de comparação e análise dos resultados.

2.1. Método de Avaliação da Eficiência da Frenagem

A avaliação de cada configuração de ABS pode ser realizada através dos valores de eficiência de frenagem obtidos para a combinação veicular. A eficiência pode ser calculada com a ajuda da seguinte expressão matemática:

$$\eta = \frac{B}{B^*} \quad (1)$$

onde: η - eficiência da frenagem;
 B - força de frenagem total aplicada;
 B^* - máxima força de frenagem possível.

$$\text{Aqui: } B^* = W \cdot \mu_0; \quad (2)$$

onde: W - peso dinâmico sobre as rodas;
 μ_0 - coeficiente de aderência máximo no contato pneumático pavimento.

Também é possível achar a eficiência relacionando outros parâmetros como, por exemplo, dividindo a desaceleração máxima que pode ser conseguida no veículo sem se perder a estabilidade e a dirigibilidade pela desaceleração máxima que poderia ser obtida se todas as rodas freassem com aderência máxima μ_0 .

O método é baseado no fato de que pequenos ganhos de eficiência podem ser decisivos para aumentar a segurança na estrada, como pode ser visto na Fig. (1) (tomada de Gillespie (1992)). Como o ABS permite aumentar a eficiência do sistema de freios, já que ele mantém o valor da força de frenagem total aplicada próximo do valor da força de frenagem máxima possível sem ocorrer o travamento das rodas, a perda de controle do veículo é evitada, sobretudo em pistas de baixa aderência. O travamento das rodas significa probabilidade de acidente e, assim, pequenos ganhos de eficiência representam uma significativa diminuição desta probabilidade.

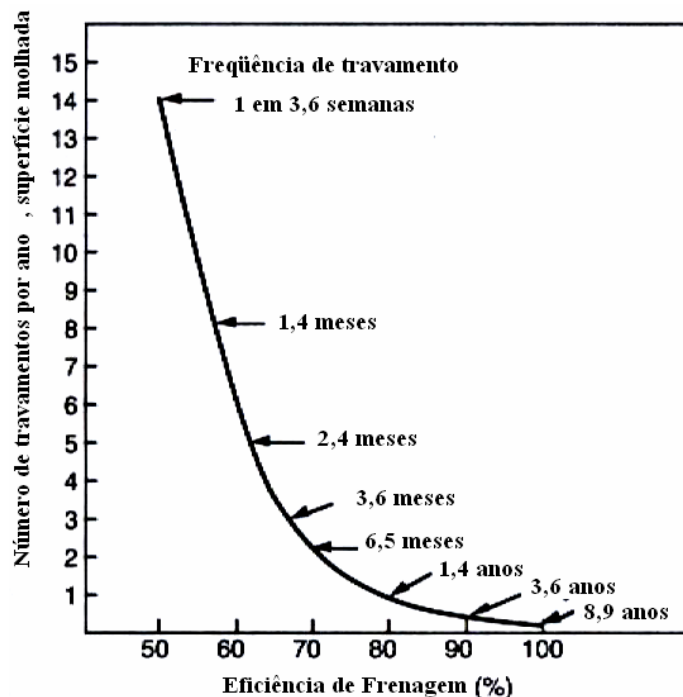


Figura 1. Eficiência da frenagem versus número de travamentos por ano (Gillespie, 1992).

As condições de operação a simular são:

- Veículo com o PBTC e sem ABS.

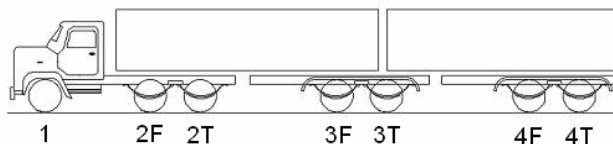
- Veículo com o PBTC e com ABS (configuração variável para o semi-reboque (SR)).
- Veículo vazio sem ABS e sem válvula sensível à carga (LSV, siglas em inglês).
- Veículo vazio com ABS (configuração variável para o SR) e sem LSV.
- Veículo vazio com a LSV e sem ABS (atuação de válvulas sensíveis à carga no tandem do cavalo e nos tandem's dos dois semi-reboques).
- Veículo vazio, com 2 eixos levantados (eixos dianteiros de cada semi-reboque), com ABS (configuração variável para o SR) e sem LSV.
- Veículo vazio, com 2 eixos levantados (eixos dianteiros de cada semi-reboque), com LSV e sem ABS.

O efeito da válvula sensível a carga é incluída nas simulações para fins de comparação. Como é conhecido, durante a frenagem ocorre transferência de peso entre os eixos (carregam-se as rodas dianteiras e descarregam-se as traseiras), pelo que é necessário diminuir a força de frenagem no eixo traseiro para evitar o travamento da roda. Esta é função da válvula sensível à carga (LSV): controlar a pressão no circuito do freio traseiro em função da porção de carga do veículo sobre o eixo traseiro. Assim, a válvula LSV evita a perda da estabilidade devido ao travamento do eixo traseiro do veículo. O travamento do eixo traseiro pode fazer com que o veículo rode na pista, ou no caso de veículos combinados, como mostrado em Horta (1999), pode provocar o movimento em "L" ("jackknife" do cavalo) ou o acotovelamento do semi-reboque ("jackknife" do semi-reboque), o que é mais perigoso ainda.

2.2. Características do Veículo Exemplo em Estudo

No estudo é simulado o comportamento de uma CVC muito utilizada na atualidade no Brasil: o "bitrem", como indicado acima. Este é um veículo combinado composto de um cavalo de três eixos e dois semi-reboques de dois eixos cada um, totalizando sete eixos como mostrado na Fig. (2), e com suspensão em "tandem" nos eixos traseiros das três unidades veiculares. O "Bitrem" foi selecionado por ser uma CVC muito utilizada na atualidade por apresentar várias vantagens como indicado em Polito (2005). Também porque é um veículo tipicamente brasileiro, com pouco tempo no mercado, e sobre o qual pouco se conhece sobre o seu desempenho na frenagem, sobre como ele se enquadra na legislação e normas vigentes, etc. Isto faz interessante e até necessária a sua escolha como veículo exemplo neste estudo.

Neste veículo são "instaladas", por separado, cada uma das cinco configurações de sistema ABS citadas e descritas anteriormente. O desempenho na frenagem das unidades rebocadas com cada uma das configurações para fins de comparação e avaliação é simulado. No caso do cavalo é adotado um sistema 6S 6M (controle individual das rodas ou controle total), como indicado antes.



- Figura 2. Bi-trem de 7 eixos, PBTC de 57 toneladas e comprimento de 19,80 m (Polito, 2005).

Na Tabela (1) são mostradas as características do sistema de freio consideradas no estudo.

Tabela 1. Características do sistema de freio de cada eixo.

Sistema de Freios	
Tipo de sistema de freio	Pneumático, de tambor
Área do cilindro	24 in ² no cv 30 in ² nos sr's
Fator de freio	1,12
Diâmetro do tambor	410 mm
Raio came S	12,7 mm
Raio dinâmico do pneu	571,5 mm
Comprimento da alavanca ajustadora	152,4 mm
Rendimento	65 %

As condições principais da frenagem adotadas são: coeficiente de adesão máximo (lados direito/esquerdo) 0,2/0,3; coeficiente de adesão de escorregamento (pista molhada/pista seca) 0,1/0,2; Velocidade inicial 70 km/h; tempo de resposta do motorista 0,4 s; tempo de resposta do sistema de freios 0,2 s; tempo para a pressão atingir 90% da pressão máxima 0,3 s; pressão inicial 0 bar; pressão final 8 bar; pressão de controle das válvulas reguladoras (pressão inicial do freio) 0,4 bar; pressão máxima de saída das válvulas LSV com o veículo carregado 8 bar; pressão máxima de saída das válvulas LSV com o veículo vazio 1,2 bar; fator das inércias rolantes (γ_b) 1; coeficiente de resistência ao rolamento 0,0012 e temperatura ambiente 25 °C.

Outras características como as dimensões e peso das unidades veiculares e os parâmetros e características da suspensão em “tandem” utilizada podem ser vistos em Polito (2004).

3. RESULTADOS

Os resultados sobre a avaliação das diferentes configurações de ABS em estudo serão mostrados e analisados a partir dos gráficos da eficiência da frenagem para cada condição de estudo adotada. Assim, mostraremos os gráficos da eficiência para as condições de veículo com o PBTC (sem ABS e com ABS (configuração variável para o semi-reboque)), veículo vazio (sem ABS e sem LSV; com ABS (configuração variável para o semi-reboque) e sem LSV; e com a LSV e sem ABS), por último, veículo vazio e com 3 eixos levantados (com ABS (configuração variável para o semi-reboque) e sem LSV; com LSV e sem ABS). Os gráficos da eficiência são obtidos a partir a seqüência de travamento das rodas o que pode ser notado pela queda no coeficiente de aderência a partir de determinado valor de pressão do ar no sistema. Estes gráficos iniciais não serão mostrados aqui, mas podem ser vistos em Horta (2006). Consideraremos neste estudo que quando travem dois eixos de um mesmo tandem estaremos em presença de uma situação de iminente perda da estabilidade e, por tanto, de potencial perda do controle do veículo e de alto risco de ocorrência de acidente.

Na Figura (3) mostramos o comportamento da eficiência da frenagem do veículo para as diferentes configurações de ABS e sem ABS na condição de veículo com o PBTC.

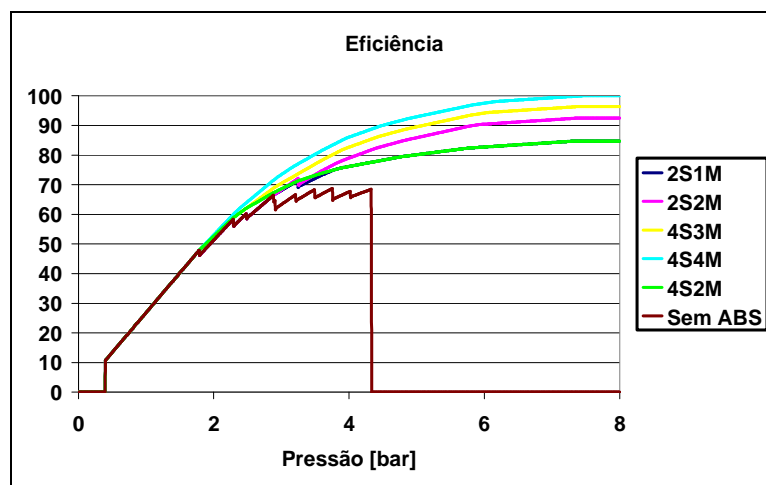


Figura 3. Eficiência da frenagem para o veículo com PBTC sem ABS e com as diferentes configurações de ABS.

Como pode ser observado na Fig. (3), as configurações 4S 4M e a 4S 3M apresentam as maiores eficiências. A 4S 2M apresenta uma eficiência muito próxima da eficiência da 2S 1M, mas é mais complexa e custosa. Contudo, ambas oferecem um grande ganho de desempenho quando comparadas ao desempenho sem ABS.

A seguir, na Fig. (4), mostraremos o gráfico do comportamento da eficiência da frenagem do veículo para as diferentes configurações de ABS e sem ABS na condição de veículo vazio. Também está incluído no gráfico o comportamento da eficiência quando se tem no sistema de freios a atuação independente da válvula LSV (sem ABS).

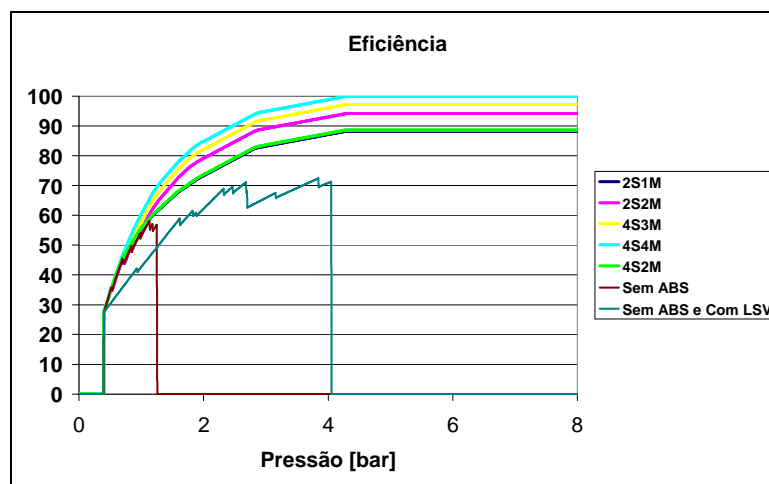


Figura 4. - Eficiência da frenagem para o veículo vazio sem ABS, com as diferentes configurações de ABS, e com a atuação independente da válvula LSV (sem ABS).

Como pode observar-se, o veículo vazio sem ABS e sem LSV tem um desempenho e eficiência na frenagem muito ruim. O Veículo vazio e com LSV apresenta uma eficiência próxima da eficiência do veículo com PBTC e sem ABS (comparar as curvas correspondentes da Fig. (3) e da Fig. (4)). Isto significa que realmente a válvula LSV corrige a pressão do ar no sistema de freio conseguindo-se manter o desempenho na frenagem próximo do desempenho na condição de veículo carregado sem ABS. O desempenho com a atuação da válvula LSV foi simulado para valores de pressão de atuação da válvula de 3 bar no cavalo e 2 bar nos semi-reboques.

Assim temos que existem grandes dificuldades para conseguir frenagens com alta eficiência sem o ABS, mesmo com a atuação da LSV para o veículo vazio. Como foi mostrado, só com ABS se consegue uma eficiência aceitável (maior de 70 %) para pressões no circuito de freio maiores de 2 bar. Também podemos observar que as configurações de ABS 4S 4M, 4S 3M e 2S 2M são as que apresentam maior eficiência na condição de veículo vazio e sem LSV.

Podemos constatar ainda que altos valores de eficiência (maiores de 80 %) são alcançados para baixas pressões no circuito de freios (3 bar) para todas as configurações de ABS no caso do veículo vazio (para veículo em PBTC isto acontece a partir de 6 bar). Ou seja, os sistemas ABS são mais importantes ainda para o desempenho do veículo na frenagem quando estamos em presença de condições de pista com baixa aderência e veículo vazio.

Na Figura (5) mostram-se as curvas de eficiência da frenagem para o caso de veículo vazio e com eixos levantados. Aqui a eficiência da frenagem é considerada para o levantamento dos eixos frontais dos tandem's dos semi-reboques, e para o eixo traseiro do tandem do cavalo, como praticado comumente. A eficiência da frenagem foi avaliada para três condições: com ABS; sem ABS; e com LSV sem ABS. No caso com ABS foram estudadas as configurações 2S 1M e 2S 2M. Na realidade esta última configuração representa também os ABS's tipos 4S 4M, 4S 3M e 4S 2M já que o ABS, nestes casos, deixaria de atuar nos eixos levantados.

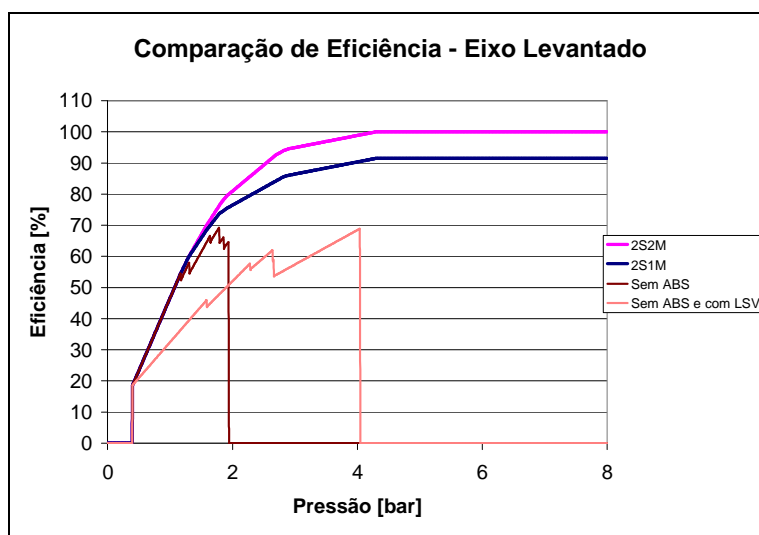


Figura 5. Eficiência da frenagem para eixos levantados com ABS, sem ABS e com LSV sem ABS.

Na Figura (5) podemos ver que o levantamento de eixos (sem e com ABS) influi pouco na eficiência da frenagem (compare-se com as curvas da Fig. (4)). No caso da atuação da válvula LSV e sem ABS apresenta-se uma diminuição da eficiência quando comparado com o veículo com todos os eixos no chão (ver também na Fig. (4)). Assim temos que o levantamento de eixos em veículos sem carga influi pouco no desempenho na frenagem quando se tem ABS. Já no caso de se ter só a válvula LSV (sem ABS) o desempenho na frenagem com eixos levantados apresenta-se deficiente. Para melhorar isto seria necessária uma re-calibragem das LSV quando os eixos sejam levantados, o que, na prática, não é fácil de realizar.

Até aqui os resultados obtidos através das simulações desenvolvidas para o veículo em estudo em diferentes condições operacionais e com diferentes dispositivos de antitravamento dos freios. Outros resultados, produzidos através da coleta e análise de informações e dados estatísticos, e do estudo e análise da legislação atual vigente, são os seguintes.

Com relação ao modelo padrão de operação dos freios de veículos combinados no Brasil foi constatado que o principal sistema de freio utilizado em veículos comerciais combinados pesados no Brasil é o sistema de freio a tambor com acionamento pneumático. Geralmente têm-se válvulas sensíveis à carga (LSV) para corrigir o balanço das forças de frenagem nos diferentes eixos em dependência da carga sobre o veículo. Na imensa maioria dos veículos em operação não se tem sistemas de antitravamento dos freios (sistemas ABS), ou se tem só em uma das unidades veiculares (geralmente no cavalo).

Existem algumas práticas de operação inadequadas como o desligamento das válvulas LSV; o levantamento de eixos sem a devida correção da regulagem das LSV; a modificação do veículo (a alteração do número de eixos, por exemplo) sem o re-projeto dos freios; etc. É comum nos motoristas o critério errado de que freio bom é aquele que,

acionado, trava as rodas rapidamente. Existe falta de conhecimento técnico básico sobre o funcionamento dos sistemas de freios nos condutores dos veículos comerciais. Existe desconhecimento e/ou critérios errados com relação às vantagens do uso do ABS.

Observa-se falta de manutenção do sistema de freios; falta de uma prática sistemática de manutenção preventiva, a realização de manutenção corretiva (contra avarias) utilizando-se materiais mais baratos, mas de duvidosa qualidade, etc. Percebem-se as conseqüências da falta de implementação da Inspeção Técnica Veicular (ITV) prevista no Código de Transito Brasileiro quando são constatadas as péssimas condições técnicas de muitos dos caminhões em circulação nas estradas e rodovias, como pode ser visto em Horta (2005).

Identificam-se como pontos críticos do sistema a pouca utilização de ABS, a inadequada utilização das LSV e da prática de levantamento de eixos, a pouca utilização de sistemas de freios mais eficientes como o freio a disco, etc.

Foram identificadas, como principais normas vigentes no Brasil para o sistema de freios de veículos comerciais, as normas estabelecidas através da Resolução nº. 777/93 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) e que são baseadas na ECE R-13 (norma aplicada nos países da comunidade européia). Estas são normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em especial a ABNT 10967 que estabelece requisitos mínimos de desempenho na frenagem (distância de parada, desaceleração média, etc.).

Para a certificação de componentes dos sistemas de freios e para a homologação de unidades veiculares são utilizadas as normas brasileiras NBR 10966, NBR 10969, NBR 10970, NBR 10967 e NBR 10968, todas citadas na Resolução nº. 777/93 do CONTRAN e que entraram em vigor a partir de 23 de dezembro de 1996. Esta resolução estabelece também que fica a critério do órgão governamental competente admitir, para efeito de comprovação do atendimento das exigências desta Resolução, os resultados de testes e ensaios realizados através de procedimentos similares de igual eficácia, realizados no exterior. Estabelece ainda que serão também reconhecidos os resultados de ensaios emitidos por órgão credenciado pela Comissão ou Comunidade Européia, em conformidade com os procedimentos adotados por esses organismos. É disposto também que o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) poderá, a qualquer momento, solicitar às empresas fabricantes e/ou importadoras de veículos a apresentação dos resultados de ensaios que comprovem o atendimento das exigências estabelecidas nesta Resolução.

As exigências de compatibilidade entre unidades veiculares (ou seja, para a combinação veicular completa) com sistemas pneumáticos de acionamento dos freios são estabelecidas pela NBR 14354. Já para os veículos com sistemas de freio ABS as exigências de desempenho são estabelecidas pela NBR 14353.

Os ensaios para a verificação do desempenho do sistema de freio para veículos rodoviários são estabelecidos no Brasil também pela norma NBR 10967 (anterior MB-3160) da ABNT. Os métodos para ensaio descritos são referentes aos freios de serviço, de emergência e de estacionamento para veículos rodoviários automotores, rebocados e combinados, definidos na TB -152. A norma estabelece os procedimentos para testes tipo 0, I, II e III.

Como principal instrumentação geralmente usada para testar os freios dos veículos e verificar o seu desempenho pode ser indicada a seguinte: equipamento "correvit", sistema de aquisição de dados, computador para processamento e análise de dados, sensores de rotação e pressão, termopares.

Com relação a adequação das normas, leis e padrões utilizados na certificação dos componentes do sistema de freios e na homologação da composição veicular completa foi constatado que no Brasil, como anteriormente dito, a legislação sobre freios baseia-se nas normas e requisitos estabelecidos na ECE R-13. As normas brasileiras são praticamente transposições (às vezes traduções diretas) deste conjunto de normas, que não sempre consideram as particularidades da realidade nacional. Contudo, apenas parte da ECE R-13 faz parte da legislação e normas de freios no Brasil, significando isto que as normas brasileiras vigentes não são um conjunto de requisitos coerentes e inter-relacionados como é na Europa. Isto, conseqüentemente, tem reflexos negativos na segurança veicular.

Um exemplo do anteriormente dito é o Anexo 10 da ECE R-13. Este Anexo, como alguns outros, não foram transformados em normas nem citados em resoluções do CONTRAN, não estando ainda em vigor no Brasil. O Anexo 10 trata da distribuição das forças de frenagem entre os eixos dos veículos e dos requisitos mínimos de desempenho na frenagem em pistas de baixa aderência. A sua inclusão nas normas da ABNT e/ou regulamentações do CONTRAN seria muito importante e necessária para garantir a segurança na frenagem em pista molhada, principalmente para veículos comerciais.

Trabalho desenvolvido por vários pesquisadores da EESC-USP e da Empresa Haldex do Brasil em 2005, como mostrado em Canale et. al (2005), concluiu que o uso fragmentado da ECE R-13, através de normas da ABNT e resoluções do CONTRAN, não garante os níveis de segurança necessários, sobretudo no caso do Anexo 10. Assim, indica-se como muito importante o estabelecimento de um Plano de Revisão e Complementação das normas de frenagem no Brasil.

Com relação ao ABS foi constatado que a legislação brasileira não estabelece a obrigatoriedade do seu uso em CVC's nem em outros tipos de veículos em geral, diferentemente de outros países e regiões do mundo em que seu uso é praticamente obrigatório ou está em andamento um cronograma para a sua implantação. O uso do ABS aumenta a eficiência da frenagem do veículo. Como existe uma relação direta entre eficiência e segurança, o uso de ABS complementa a segurança sob o ponto de vista técnico e legal. Como o ABS é útil, sobretudo em condições de baixa aderência, seu uso é necessário para cumprir com os requisitos do Anexo 10 da ECE R-13.

No caso da manutenção do bom estado técnico do veículo, não existe neste momento uma legislação que garanta isso, já que a Inspeção Técnica Veicular (ITV) não está ainda implementada e não se tem na prática um instrumento e procedimento legal que evite que veículos em estado técnico deficiente circulem pelas estradas. Também é preocupante

a alta idade média da frota brasileira de caminhões, estabelecida por alguns autores como sendo de 18 anos, o que incide também negativamente no estado técnico dos veículos.

Com relação à disponibilidade no mercado brasileiro dos sistemas ABS e de outros componentes necessários para a segurança durante a frenagem (como por exemplo, a alavanca ajustadora automática da folga entre lonas e tambor do mecanismo de freios) e a sua adequação à realidade automotiva brasileira foi constatado que existem no mercado sistemas e componentes adequados para se garantir a segurança veicular e o desempenho durante a frenagem. Vários tipos de sistemas ABS, alavancas automáticas ajustadoras da folga entre lona e tambor (ou pastilha e disco), válvulas sensíveis à carga, sistemas retardadores, freios motor, etc., estão disponíveis para a sua utilização em veículos, sobretudo nos reboques e semi-reboques de fabricação nacional. A modo de exemplo temos que, no caso da Empresa Haldex do Brasil, têm-se disponíveis vários tipos de válvulas LSV, alavancas ajustadoras e sistemas ABS que podem ser utilizados em semi-reboques com suspensão em tandem. Estes foram os sistemas estudados neste trabalho para fins de comparação de desempenho, objetivando dar subsídios à empresa.

Como resultado das simulações realizadas para analisar e propor quais os tipos de sistema ABS mais apropriados às condições de operação brasileiras para serem utilizados nos veículos combinados comerciais longos temos que todas as configurações de ABS e também a LSV oferecem um ganho de desempenho significativo, sobretudo em condições de veículo vazio e pista com baixa aderência, o que indica a necessidade do uso de ABS no bi trem (mesmo com as configurações de ABS menos eficientes) pelo enorme ganho em segurança que isto significa. Foi possível constatar que configurações de ABS simples e baratas oferecem resultados satisfatórios, o que indica a viabilidade econômica do uso em larga escala destes sistemas. Do ponto de vista legislativo o ABS em veículos combinados pesados apresentou-se como necessário para poder cumprir com normas de homologação e certificação mais exigentes, como é previsível no futuro. O ABS permite também continuar com a prática de levantamento de eixos (que tem algumas vantagens) sem comprometer significativamente o desempenho na frenagem. Por último é possível dispensar o uso de LSV quando se tenha no veículo sistema ABS instalado. Todos estes resultados são de alto valor para o planejamento estratégico e as futuras projeções de desenvolvimento das atividades da Empresa Haldex do Brasil; assim como também para a necessária mudança da legislação brasileira de freios com relação ao uso de ABS, sobretudo no caso de veículos combinados comerciais pesados e longos.

Os resultados até aqui apresentados permitiram recomendar procedimentos e ações necessárias para conseguir o uso em larga escala de sistemas ABS nos veículos comerciais combinados utilizados no Brasil. Entre as principais podemos destacar a necessária revisão e aperfeiçoamento da legislação vigente para sistemas de freios (incluir o Anexo 10 da ECE R-13, exigir o uso obrigatório de ABS para determinados tipos e configurações veiculares como única forma de poder garantir a observação das normas e a elevação da segurança nas estradas), a necessidade de que no mercado sejam oferecidos sistemas e configurações de ABS simples, baratas e eficientes que viabilizem economicamente o uso de sistemas ABS (mesmo as configurações de ABS mais simples e baratas proporcionam grande ganho de desempenho e eficiência durante a frenagem), a necessidade de um plano de conscientização e informação sobre as vantagens do ABS com relação à segurança (para vencer as barreiras subjetivas que ainda bloqueiam a aceitação do ABS por determinados tipos de usuários), o condicionamento de se ter ABS no veículo para poder continuar com a prática de levantamento de eixos, etc.

As ações indicadas possibilitariam o incremento da utilização de ABS em veículos comerciais pesados a curto e médio prazo partindo da percepção por todos os envolvidos da necessidade disto para elevar a segurança nas estradas e partindo da viabilidade econômica do uso de configurações simples e mais baratas. Em longo prazo poderia prever-se o amplo uso dos ABS na frota de caminhões baseados no pressuposto de que será uma realidade a existência de normas que obriguem ao uso do ABS para determinado tipo de veículo e determinadas condições de operação. Também porque já se teria uma legislação muito mais completa, aperfeiçoada e coerente (normas para desempenho em condições de baixa aderência pneumático-pavimento, por exemplo). Tudo isto teria um enorme impacto na segurança provocando uma significativa redução no número e gravidade dos acidentes, nos custos por perdas humanas e materiais e no efeito positivo que tudo isso traria para a sociedade brasileira. Do ponto de vista econômico permitiria um maior uso de CVC's (que significa uma maior eficiência das transportações pelo modal rodoviário de transportação de cargas) o que é muito necessário na atualidade com o aumento da produção agro-industrial e das exportações. Podem ser previstos também benefícios do ponto de vista ambiental pela redução do número de veículos tratores na estrada o que reduzirá a quantidade de gases tóxicos e outros poluentes lançados na atmosfera.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitiram oferecer subsídios à empresa para a mudança estratégica no relacionado com as políticas de desenvolvimento, comercialização e operação de produtos como os sistemas ABS, as válvulas LSV e as alavancas de ajuste automático da folga entre lona e tambor de freio. Permitiram também ter uma visão geral e abrangente da situação atual no Brasil com relação ao uso de ABS em veículos comerciais e qual a estratégia a seguir para mudar esta situação. Para isto foram considerados aspectos técnicos, legislativos, econômicos, etc., o que da maior valor aos resultados conseguidos.

Foi constatada a necessidade de ações encaminhadas à divulgação e conscientização sobre as vantagens do ABS com relação à segurança. Isto poderá ajudar a vencer as barreiras subjetivas que ainda freiam a aceitação do ABS por determinados tipos de usuários. Também a necessidade de eliminar algumas práticas de operação inadequadas como o desligamento das válvulas LSV; o levantamento de eixos sem a devida correção da regulagem das LSV; as

modificações do veículo sem o re-projeto dos freios; etc. Muitos motoristas não tem consciência de quanto afetam estas práticas a segurança do veículo na frenagem.

De grande importância e aplicação imediata foram os resultados e conclusões obtidas a partir das simulações realizadas com o veículo exemplo (o bi-trem). Entre as principais temáticas que todas as configurações de ABS e também a LSV oferecem um ganho de desempenho significativo, sobretudo em condições de veículo vazio e pista com baixa aderência, o que indica a necessidade do uso de ABS no bi trem (mesmo com as configurações de ABS menos eficientes) pelo enorme ganho em segurança que isto significa. Foi possível constatar que configurações de ABS simples e baratas oferecem resultados satisfatórios, o que indica a viabilidade econômica do uso em larga escala destes sistemas. Do ponto de vista legislativo o ABS em veículos combinados pesados apresentou-se como necessário para poder cumprir com normas de homologação e certificação mais exigentes, como é previsível no futuro. O ABS permite também continuar com a prática de levantamento de eixos sem comprometer significativamente o desempenho na frenagem. Por último é possível dispensar o uso de LSV quando se tenha no veículo sistema ABS instalado (sempre que o ABS permita atender as normas vigentes (NBR 14353:1999 e o Anexo 10 da ECE R-13)).

Todos os resultados aqui expostos são de alto valor para o planejamento estratégico e as futuras projeções de desenvolvimento das atividades da Empresa Haldex do Brasil; também para a necessária mudança da legislação brasileira de freios com relação ao uso de ABS, sobretudo no caso de veículos combinados comerciais pesados e longos. Também são resultados de grande importância social pelo impacto que tem para o desenvolvimento das transportações mais seguras pelo modal de transporte rodoviário, que é predominante sobre outros modais de transporte no Brasil.

5. AGRADECIMENTOS

Aos colegas do Laboratório Computacional Veicular da EESC-USP pela colaboração.

À Haldex do Brasil pelo patrocínio e apoio.

À CNPq pela bolsa concedida.

6. REFERÊNCIAS

- Allen, R.W., Rosenthal, T.J., 1994, "Requirements for vehicle dynamics simulation models", SAE Technical Paper Series, paper 940175.
- Borges, J.A.F. et al, 1994, "Dynamic simulation of a heavy articulated truck", Proceedings of the 12 International modal analysis conference, Honolulu, 1994, Honolulu, IMAC, pp. 1448-53.
- Brossi, A., 2002, "Estudo do desempenho de frenagem de um ônibus bi-articulado", São Carlos, 134 p., Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Canale, A.C., 1989, "Automobilística: dinâmica e desempenho", São Paulo, Érica. Cap. 5, p.78-99: Dinâmica da Frenagem.
- Canale, A.C. et. al., 2005, "A importância de um plano de revisão e complementação das normas e regulamentações de frenagem de veículos rodoviários de carga no Brasil", Anais do 7º International brake colloquium and engineering display, Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil, SAE, p. 37-42.
- Fernandes, D. L., 1994, "Estudo da frenagem de autoveículos rodoviários articulados pesados", São Carlos, 153 p., Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Gillespie, T. D., 1992, "Fundamentals of Vehicle Dynamics". 2.ed. Warrendale, SAE.
- Horta, J.C., 1999, "Estudo da estabilidade direcional de um veículo combinado cavalo semi-reboque", São Carlos, 289 p., Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Horta, J. C., 2005, "Estudo da descida de veículos comerciais pelo trecho da serra do mar da Rodovia dos Imigrantes", São Carlos, 2005, 598p., Relatório (Pós-Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Horta, J. C., 2006, "Necessidade e viabilidade da implantação do uso em larga escala de sistemas antitravamento dos freios (sistemas "abs") em veículos combinados comerciais pesados no Brasil", São Carlos, 2005, 86p. Relatório (Pós-Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Lucas, M. J., 2004, "Faixas adicionais para trechos de rodovias com declives longos considerando os aspectos da frenagem de veículos de carga", São Carlos, 104 p., Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Polito, R. F.; Canale, A. C.; Botelho, J. H., 2004. "Influência da suspensão em Tandem no desempenho da frenagem em regime permanente de um bi-trem". SAE Technical Paper Series, paper 2004-01-3359.
- Polito, R.F., 2005, "Estudo do desempenho na frenagem de um bi-trem com suspensão em tandem e com ABS", São Carlos, 116 p., Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Title: Subsidies for the strategical planning and future projections development of anti-lock braking systems for the brazilian semi-trailer industry.

Authories: Principal: Dr. Juan Carlos Horta Gutiérrez¹, horta@demec.ufmg.br
Co-author: Dr. Antônio Carlos Canale², canale@sc.usp.br
Co-author: João Henrique Botelho³, joaoh.botelho@hbr.haldex.com

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte –MG, Brasil.

² Escola de Engenharia de São Carlos-USP, SMM, Av. Trabalhador São-carlense 400, Centro, CEP 13566-590, São Carlos – SP, Brasil.

³ Haldex do Brasil Indústria e Comércio Ltda, R. Carlos Pinto Alves 29, Jardim Aeroporto, CEP 04.630-030, São Paulo – SP, Brasil.

Summary:

The main aim of this work is provide subsidies for the strategical planning and future projections for anti-lock braking system (ABS) development for Brazilian long vehicle combinations (LVC). The objective is the safety - cost optimization during the use of this type of vehicle and during production of braking system components. Here are available different configurations of ABS in the semi-trailers. Mathematic models were developed and simulations were performed considering each operational conditions situation, such as full load vehicle, unloaded vehicle, low adhesion road, utilization of load sensing valve (LSV), axles raised, etc. In the simulations were considered the effect of the use of “tandem” type suspension (in the rear axles of the truck and the semi-trailers) on the braking process. The results shown that, during the use of this typically brazilian vehicle, ABS configurations are more favorable and offer better operational conditions of the safety and also under economic point of view. Comparisons and discussions about the various configurations and conditions of use are carried through. The study is very important to increasing the security and the efficient use of highway’s transport. The work offers subsidies for to increasing the use of ABS in Brazil. Here are considered many important aspects including legislation, technician, economical, market, social impact and environment aspects. The present investigation in an example of partnership between academician and industrial sectors for the product development for automotive industry.

Key words: Automotive industry, semi trailers, braking system, anti-lock braking system, braking efficiency, long vehicle combinations, product development.

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.