

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Luis Fernando da Costa Oliveira

AVALIAÇÃO DO USO DE DIFERENTES SISTEMAS ABS EM UM VEÍCULO BITREM

São Carlos - SP

2010

Luis Fernando da Costa Oliveira

AVALIAÇÃO DO USO DE DIFERENTES SISTEMAS ABS EM UM VEÍCULO BITREM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo como parte dos
requisitos para graduação em Engenharia
Mecatrônica.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Canale

São Carlos - SP

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

048a

Oliveira, Luis Fernando da Costa
Avaliação do uso de diferentes sistemas ABS em um
veículo BITREM / Luis Fernando da Costa Oliveira ;
orientador Antonio Carlos Canale -- São Carlos, 2010.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, 2010.

1. ABS. 2. Frenagem de emergência. 3. Segurança. I.
Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Candidato(s): Luis Fernando da Costa Oliveira

Título: Avaliação do uso de diferentes sistemas ABS num veículo Bitrem

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo
Curso de Engenharia Mecatrônica**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hélio Aparecido Navarro

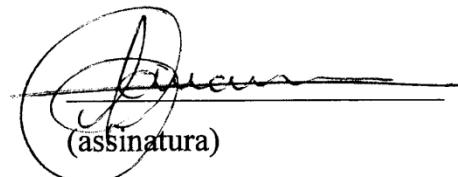
Nota atribuída: 10,0 (dez)



(assinatura)

Prof. Dr. Luís Carlos Passarini

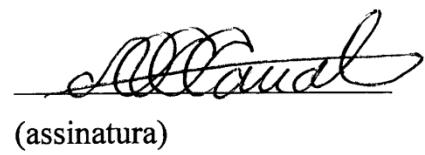
Nota atribuída: 10,0 (dez)



(assinatura)

Prof. Dr. Antonio Carlos Canale (orientador)

Nota atribuída: 10,0 (dez)



(assinatura)

Média: 10,0 (dez)

Resultado: APROVADO

Data: 30/11/2010

A Deus, pois sem Ele nada alcançaria.

À memória de meu pai, que sempre me inspirou.

À minha mãe e às minhas irmãs, pelo apoio e carinho nesta e em outras caminhadas.

RESUMO

A crescente preocupação com a segurança nas estradas leva à adoção no Brasil da obrigatoriedade do sistema anti-travamento das rodas em veículos de carga, o que já é uma realidade nos países desenvolvidos. Considerada a idade da frota nacional e a situação precária de muitas das rodovias que cruzam o país, pode-se dizer que essa medida por si já representa um avanço e vem a colaborar drasticamente na redução no número de acidentes e mortes. Este trabalho visa analisar o impacto causado pela escolha de determinados tipos de ABS a serem equipados em um veículo bitrem medindo-se sua influência em parâmetros de segurança na frenagem de emergência.

Palavras Chave: ABS, Frenagem de Emergência, Segurança.

ABSTRACT

The growing concern about safety at the roads leads to the mandatory use in Brasil of the anti-lock braking system in cargo trucks, which is already a reality at the developed countries. Given the age of the national fleet and the precarious situation of many of the roads across the country, it is reasonable saying that this single measure already represents a step forward and it may result in a dramatic reducing in the number of accidents and deaths. This study will analyze the impact of the choice of certain types of ABS to be fitted in a “Bitrem” vehicle by measuring their influence on parameters of safety at the emergency braking.

Keywords: ABS, Emergency Braking, Safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 SITUAÇÃO GERAL DAS RODOVIAS NACIONAIS (CNT: SEST: SENAT, 2010)	5
FIGURA 2 DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO NA ÁREA DE CONTATO DE UM PNEU EM FRENAGEM.....	8
FIGURA 3 COEFICIENTE DE ADESÃO EM FUNÇÃO DO ESCORREGAMENTO PARCIAL DO PNEU.....	8
FIGURA 4 ABS 2S/1M.....	9
FIGURA 5 ABS 2S/2M.....	9
FIGURA 6 ABS 4S/2M.....	9
FIGURA 7 ABS 4S/3M.....	10
FIGURA 8 ABS 4S/4M.....	10
FIGURA 9 MODELAGEM DA SUSPENSÃO EM TANDEM (FEIXE DE MOLAS) COM O MODELO DO PNEU	13
FIGURA 10 TELA DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO	13
FIGURA 11 MODELAGEM DA COMPOSIÇÃO REPRESENTANDO O VEÍCULO BITREM	14
FIGURA 12 MODELAGEM EM MULTI-CORPOS DO CAVALO MECÂNICO	15
FIGURA 13 VARIÁVEIS DE CONTROLE DA SIMULAÇÃO	15
FIGURA 14 REPRESENTAÇÃO TRIDIMENSIONAL DO VEÍCULO BITREM MODELADO.....	16
FIGURA 15 ACELERAÇÃO APLICADA AO VEÍCULO AO LONGO DA SIMULAÇÃO.....	17
FIGURA 16 UTILIZAÇÃO DE ADERÊNCIA COM SISTEMAS ABS 4S/4M.....	18
FIGURA 17 EFICIÊNCIA COM SISTEMAS ABS 4S/4M.....	19
FIGURA 18 UTILIZAÇÃO DE ADERÊNCIA EM PAVIMENTO ASSIMÉTRICO E SISTEMAS ABS 2S/1M	20
FIGURA 19 UTILIZAÇÃO DE ADERÊNCIA EM PAVIMENTO ASSIMÉTRICO E SISTEMAS ABS 4S/4M	21
FIGURA 20 EFICIÊNCIA DE DIFERENTES SISTEMAS ABS	21
FIGURA 21 COMPARAÇÃO DA AUSÊNCIA DE SISTEMAS ABS EM UMA OU MAIS UNIDADES	23
FIGURA 22 RELAÇÃO ENTRE ESCORREGAMENTO E EFICIÊNCIA DE FRENAGEM (CANALE, 1989)	25

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 QUADRO COMPARATIVO ENTRE BRASIL, EUA E UNIÃO EUROPEIA – 2008 (BOSELLI, 2009).....	3
TABELA 2 DADOS RELATIVOS À MORTALIDADE NO TRÂNSITO EM OUTROS PAÍSES – 2009 (OECD, 2010)	4
TABELA 3 SITUAÇÃO GERAL DAS RODOVIAS (CNT: SEST: SENAT, 2010)	5
TABELA 4 TIPOS DE ACIDENTE POR ANO (BOSELLI, 2009).....	6
TABELA 5 EFICIÊNCIA MÉDIA EM REGIME DOS SISTEMAS ABS SIMULADOS	22

LISTA DE SÍMBOLOS

μ_0 – Coeficiente teórico máximo de adesão entre pneu e pavimento [];

μ_s – Coeficiente teórico de atrito dinâmico entre pneu e pavimento [];

η – Eficiência do sistema de frenagem [];

ω – Velocidade angular [rad/s];

F – Soma das forças de frenagem [N];

F_{max} – Soma das forças de frenagem, com utilização ideal da aderência disponível [N];

g – Aceleração da gravidade, $g = 10$ [m/s^2]¹;

J^* – Desaceleração real desenvolvida pelo veículo [m/s^2];

J_{max} – Desaceleração máxima teórica para o veículo [m/s^2];

m – Massa do veículo [kg];

M_f – Momento de frenagem atuante sobre o eixo [N.m];

P – Soma de todas as reações normais do pavimento sobre os pneus [N];

r – Raio dinâmico do pneu [m];

V – Velocidade do veículo [m/s];

¹ O valor para a aceleração da gravidade foi utilizado igual a 10 m/s em conformidade com o valor adotado nas normas para ensaios de frenagem.

VRS – Velocidade da roda em relação ao pavimento [m/s];

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. VISÃO GERAL	1
1.2. ORGANIZAÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1. ESTATÍSTICAS DO TRÂNSITO BRASILEIRO	3
2.2. ABS	7
2.2.1. O SISTEMA DE FREIOS COM ABS	7
2.2.2. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO	7
2.2.3. TIPOS DE ABS	9
2.3. DESEMPENHO NA FRENAGEM	11
3. METODOLOGIA	12
4. RESULTADOS	17
4.1. COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES SISTEMAS ABS	17
4.2. CASO EM QUE NEM TODAS AS UNIDADES DA COMBINAÇÃO POSSUEM ABS	22
5. CONCLUSÃO	25
6. BIBLIOGRAFIA	27

1. INTRODUÇÃO

1.1. Visão Geral

O uso de sistema ABS já é realidade nos países desenvolvidos e agora passa a ser regulamentado no Brasil. Num país com uma frota antiga e com pistas de pavimento pouco conservado, deve-se considerar que o uso do sistema antitravamento vem a colaborar drasticamente na redução no número de acidentes e mortes nas estradas

Uma vez que os sistemas ABS são encontrados em diferentes configurações, existe a necessidade de se conhecer a influência que os diversos tipos de ABS têm sobre a estabilidade e dirigibilidade de um veículo. Para isso, foi desenvolvido um conjunto de simulações em MATLAB&Simulink® para obter os dados na frenagem de emergência de um veículo bitrem com o uso de diferentes combinações de ABS na composição.

O software possui a modelagem completa de um veículo da categoria, com sistema de freios, suspensão e pneus detalhadamente caracterizados, aos quais se pode agregar o modelo do ABS nas rodas. Diversos fatores podem ser tomados, mas a eficiência da frenagem foi a medida escolhida para o estudo comparativo por permitir uma análise ao mesmo tempo quantitativa e qualitativa.

1.2. Organização

O presente estudo foi estruturado em 5 partes, cada qual desenvolvida num capítulo específico.

O Capítulo 1 contém uma apresentação geral do trabalho e seus objetivos.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura disponível sobre o tema, utilizada por base para definir conceitos e desenvolver metodologias necessárias ao trabalho.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia do trabalho, com o detalhamento do modelo computacional utilizado nas simulações para obtenção dos parâmetros de interesse.

No Capítulo 4 são analisadas as curvas obtidas com o modelo computacional apresentado, sob o conceito da eficiência das diferentes combinações de ABS.

Por fim, no Capítulo 5 encontram-se algumas considerações e a conclusão do trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Estatísticas do Trânsito Brasileiro

O Brasil se destaca no cenário mundial pelas altas taxas de acidentes de trânsito. Países desenvolvidos têm investido intensamente em políticas de segurança no trânsito, com resultados que se verificam em suas estatísticas decrescentes dos últimos anos. A Tabela 1 mostra um cenário comparativo, no qual se pode posicionar o Brasil em relação aos EUA e à União Européia no ano de 2008:

País	Mortes por AT em 2008	População 2008 (milhões)	Coeficiente de mortalidade/100 mil hab.
Brasil	57.116	189,6	30,1
Estados Unidos	37.261	304,0	12,5
União Européia	38.876	498,0	7,8

Tabela 1 Quadro comparativo entre Brasil, EUA e União Européia – 2008 (Boselli, 2009)

A fim de se obter uma visão mais geral, as estatísticas para outros países em termos da mortalidade decorrida de acidentes no trânsito no ano de 2009 podem ser encontradas na Tabela 2.

Country	Killed per 100 000 inhabitants ^a 2009
Malaysia	23.8
Argentina	18.4
Greece ²	13.8
Cambodia ¹	12.6
United States	11.1
Korea ¹	12.0
Poland	12.0
Lithuania ¹	11.0
New Zealand	8.9
Belgium ²	8.9
Czech Republic	8.6
Slovenia	8.4
Hungary	8.2
Portugal	7.9
Italy ²	7.9
Austria	7.6
Luxemburg ²	7.2
Australia	6.9
France ¹	6.9
Canada ¹	6.3
Spain	5.9
Denmark	5.5
Ireland	5.4
Finland	5.3
Iceland	5.3
Germany	5.1
Japan	4.5
Switzerland	4.5
Norway	4.4
Israel	4.2
Netherlands	3.9
Sweden	3.9
United Kingdom	3.8

Tabela 2 Dados relativos à mortalidade no trânsito em outros países – 2009 (OECD, 2010)

Ao considerar os fatores que influenciam diretamente nesses dados são importantes dois temas: a condição geral das estradas nacionais e a situação da frota em circulação. Na Tabela 3 podem-se visualizar dados relativos à situação geral das rodovias nacionais, os quais também são ilustrados na Figura 1.

Estado Geral	2009		2010	
	Km	%	Km	%
Ótimo	12.053	13,5	13.378	14,7
Bom	15.660	17,5	24.092	26,5
Regular	40.335	45,0	30.326	33,4
Ruim	15.150	16,9	15.858	17,4
Péssimo	6.354	7,1	7.291	8,0
TOTAL	89.552	100	90.945	100

Tabela 3 Situação geral das rodovias (CNT: SEST: SENAT, 2010)

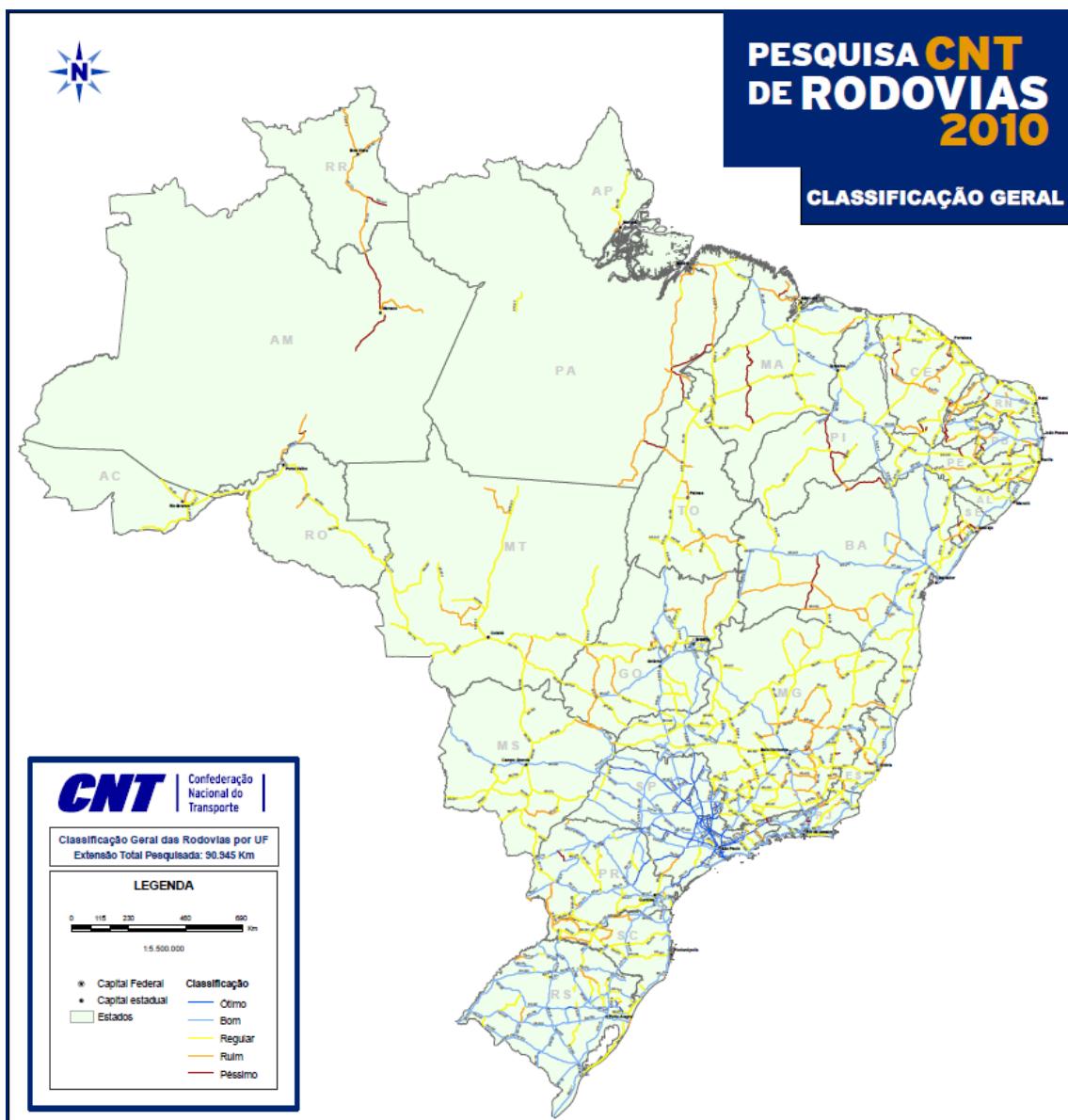


Figura 1 Situação geral das rodovias nacionais (CNT: SEST: SENAT, 2010)

Verifica-se que a existência de pistas em condições boas ou ótimas está quase que restrita ao estado de São Paulo e que, entre 2009 e 2010, a quilometragem de pistas em estado ruim e péssimo é crescente. São justamente estas últimas as que devem receber maior atenção das políticas de manutenção e prevenção de acidentes.

Além disso, quando se buscam os dados para os diferentes tipos de acidentes é possível ver que as motocicletas estão longe de ser as principais vilãs do trânsito. Vide Tabela 4:

Ano	Atropelamento	%	Acidentes com ciclistas	%	Acidentes com motociclistas	%	Outros (acidentes com ocupantes de automóvel, caminhonete, ônibus, outros)	%	Total de mortes no ano
2007	9.657	26%	1.649	4%	8.078	22%	18.023	48%	37.407
2006	10.147	28%	1.668	5%	7.162	20%	17.390	48%	36.367
2005	10.320	29%	1.523	4%	5.974	17%	18.177	51%	35.994
2004	10.166	29%	1.389	4%	5.042	14%	18.508	53%	35.105
2003	9.991	30%	1.263	4%	4.271	13%	17.614	53%	33.139
2002	9.947	30%	1.240	4%	3.744	11%	17.822	54%	32.753
2001	9.720	32%	1.008	3%	3.100	10%	16.696	55%	30.524
2000	8.696	30%	789	3%	2.465	9%	17.045	59%	28.995

Tabela 4 Tipos de acidente por ano (Boselli, 2009)

Em relação ao estado dos veículos em circulação, sabe-se que a idade média da frota comercial nacional é de cerca de nove anos (Valor, 2009). Veículos produzidos em uma época em que a preocupação com a segurança não era corretamente regulamentada – e que ao longo de sua vida foram submetidos a uma manutenção insuficiente – são fatores críticos para a presença do perigo nas estradas. Não é surpreendente, pois, que caminhões estejam envolvidos em um de cada quatro acidentes registrados nas estradas (Soares, 2010).

Na Europa, ainda que não seja obrigatório por regulamentação, a imensa maioria dos veículos já possui de fábrica o ABS. A partir de 2011 todos os veículos produzidos deverão também ter o sistema EBD por lei, o que tornará o ABS compulsório uma vez que o funcionamento do EBD exige sua instalação.

No Brasil, até 2014, 100% da produção nacional deverá trazer o sistema ABS demonstrando um consenso de que o sistema trará maior segurança às estradas. Entretanto, os resultados não

serão claramente identificados até que a frota em circulação seja gradualmente substituída pelos veículos com o novo sistema.

2.2. ABS

2.2.1. O Sistema de Freios com ABS

O ABS é composto de uma unidade eletrônica de comando, acoplada a um módulo hidráulico (Gardinalli, 2005). O módulo eletrônico possui duplidade de processamento a fim de garantir precisão nos cálculos, com a comparação entre os resultados obtidos.

Um software flexível irá definir diferentes estratégias para diferentes cenários de frenagem, como, por exemplo, em diferentes níveis de aderência, em curvas, etc. Um constante monitoramento de todos os componentes visa garantir seu bom funcionamento. Caso alguma falha seja detectada, um sinal de alerta é acionado e o sistema é desativado automaticamente.

Além do monitoramento em tempo real, também é possível antecipar ações necessárias pela extração do histórico de velocidade do veículo. A ação preventiva traz vantagens na ação de controle e garante uma direção mais suave, confortável e segura.

2.2.2. Princípios de Funcionamento

Os principais sinais de entrada são as velocidades das rodas, aferidas por sensores – ativos ou passivos – que possibilitarão determinar a velocidade de referência. No momento da frenagem, as rodas perdem velocidade em função da aplicação de um torque pelo sistema de

freios que se reflete em uma força de contato entre o pneu e o pavimento na direção contrária ao movimento. Essa dinâmica pode ser visualizada (Canale, 1989) na Figura 2:

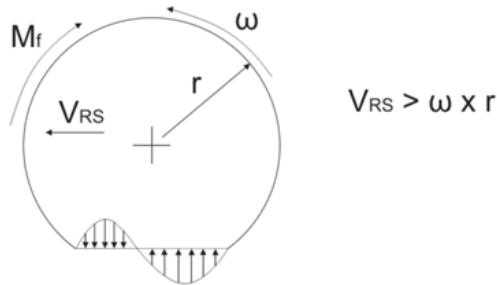


Figura 2 Distribuição de pressão na área de contato de um pneu em frenagem

Caso o torque de frenagem seja muito alto, a solicitação de aderência no contato entre pneu e pavimento será acima da aderência disponível e as rodas travarão. O resultado é o aumento da distância de parada, bem como a perda da estabilidade e dirigibilidade.

O ABS atua justamente nessa situação, identificando um aumento no escorregamento parcial dos pneus e controlando a intensidade do torque de frenagem de modo a manter o pneu na condição ideal de utilização de aderência. Essa condição ideal ocorre para um valor de escorregamento parcial entre 10 e 20% (Canale, 1989) conforme a variação característica da curva do pneu. Isso pode ser melhor visualizado na Figura 3:

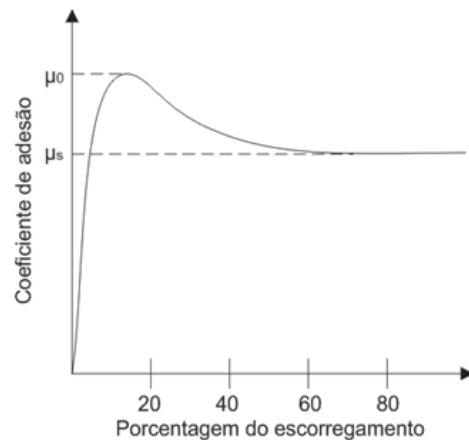


Figura 3 Coeficiente de adesão em função do escorregamento parcial do pneu

2.2.3. Tipos de ABS

O controle das rodas é agrupado em canais de diferentes maneiras, em função de questões de custo, complexidade e desempenho do sistema (Giória, 2008). O número de canais e sensores irá caracterizar diferentes configurações de ABS (Canale, et al., 2010), conforme pode ser explorado nas figuras a seguir:

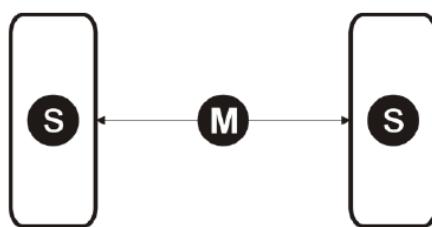


Figura 4 ABS 2S/1M

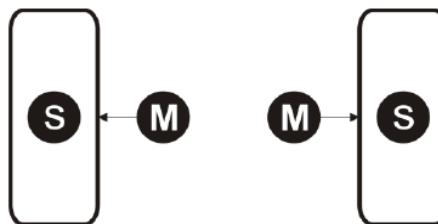


Figura 5 ABS 2S/2M

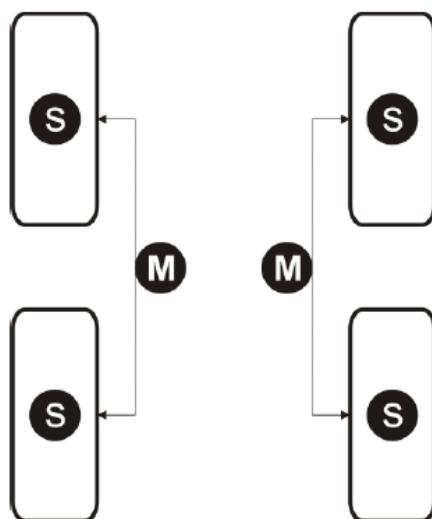


Figura 6 ABS 4S/2M

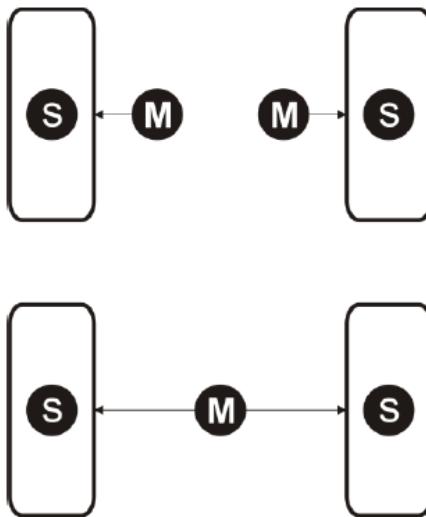


Figura 7 ABS 4S/3M

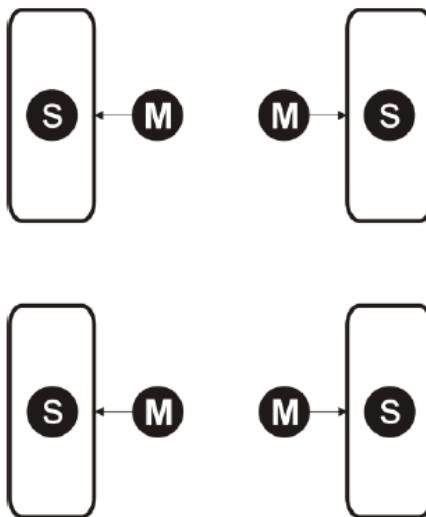


Figura 8 ABS 4S/4M

Em cada caso os sensores (S) monitoram o escorregamento parcial das rodas onde estão instalados. Os atuadores (M) agem, em função da leitura dos sensores, controlando a intensidade do torque de frenagem aplicado sobre uma ou mais rodas.

Modelos com maior número de sensores e atuadores aparentemente terão uma eficiência maior, mas serão também mais caros. Ao realizar a escolha de qual ABS utilizar, deve-se ter em mente mais do que simplesmente sua configuração, mas a relação custo benefício que um ou mais sensores/atuadores irá proporcionar à questão da segurança.

2.3. Desempenho na Frenagem

Para buscar um parâmetro de comparação entre as simulações realizadas, além dos fatores imediatos, como a distância de parada, pode-se fazer uso de outra medida quantitativa. Na situação em que todas as rodas pudessem frear com a aderência máxima, desconsideradas forças de resistência que não sejam o atrito, o veículo desenvolveria a máxima desaceleração, dada por:

$$J_{max} = \mu_0 \cdot g$$

Todavia, limitações de ordem técnica e prática impedem que uma distribuição ideal das forças de frenagem seja alcançada e a desaceleração real desenvolvida relaciona-se com a máxima por:

$$J^* = \eta \cdot J_{max}$$

Chama-se η a eficiência da frenagem (Canale, et al., 2005). Seu valor varia conforme a desaceleração específica e o projeto do sistema de freios. Cada frenagem apresentará uma eficiência distinta, conforme a porcentagem aproveitada da aderência disponível. Pode-se, assim, observar o papel do sistema ABS ao possibilitar uma desaceleração mais próxima da máxima e, consequentemente, elevar a eficiência da frenagem. Essa relação pode ser escrita como:

$$\eta = \frac{J^*}{J_{max}} = \frac{F/m}{F_{max}/m} = \frac{F}{\mu_0 \cdot g}$$

3. METODOLOGIA

Para estudar o impacto da escolha de cada tipo de sistema ABS foi escolhido um veículo bitrem, em função da complexidade de fazer o estudo em um veículo combinado e pelo maior número de eixos, o que expande as combinações possíveis.

Assim, foi utilizado o conjunto disponível na biblioteca SimMechanics para reproduzir no ambiente de simulação do software a dinâmica do veículo com ferramentas de análise Multi-Corpos. As seguintes simplificações foram adotadas:

- O chassi do veículo é considerado um corpo rígido com sua massa concentrada no CG.
- A pista foi considerada plana.
- A força de arrasto aerodinâmico não foi considerada.
- O raio dinâmico das rodas é considerado constante.
- Todas as forças que atuam sobre o veículo são consideradas pontuais.
- Os coeficientes de adesão máxima e de escorregamento são considerados constantes.
- Os elementos com características elásticas têm suas propriedades constantes.
- A curva de variação do coeficiente de adesão em função do escorregimento do pneu é contínua, baseada em um pneu mapeado.
- As forças de frenagem são aplicadas diretamente sobre os eixos sob a forma de torque.
- Qualquer força existente entre pneu e pavimento é aplicada no ponto de contato entre eles.
- A distribuição das forças de frenagem é constante.

O veículo bitrem foi modelado como uma massa suspensa sobre as suspensões que apoiam-se nos eixos e estes, por sua vez, sobre um sistema mola-amortecedor representando os pneus. As suspensões foram montadas como um conjunto de corpos ligados por molas de torção.

Na Figura 9 é representado o modelo equivalente adotado para a suspensão e o pneu enquanto que a Figura 10 mostra a tela de interação com o programa de simulação.

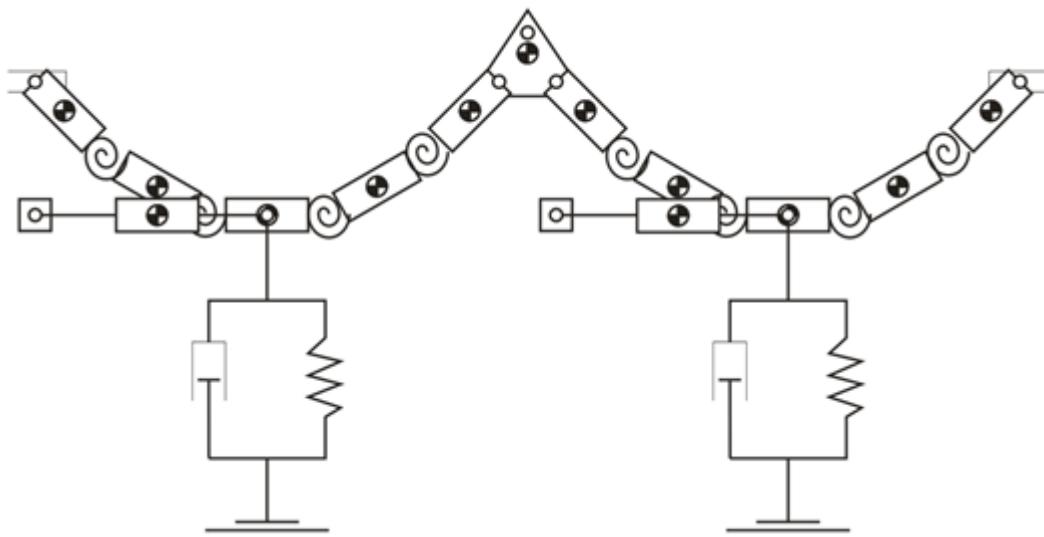


Figura 9 Modelagem da suspensão em tandem (feixe de molas) com o modelo do pneu

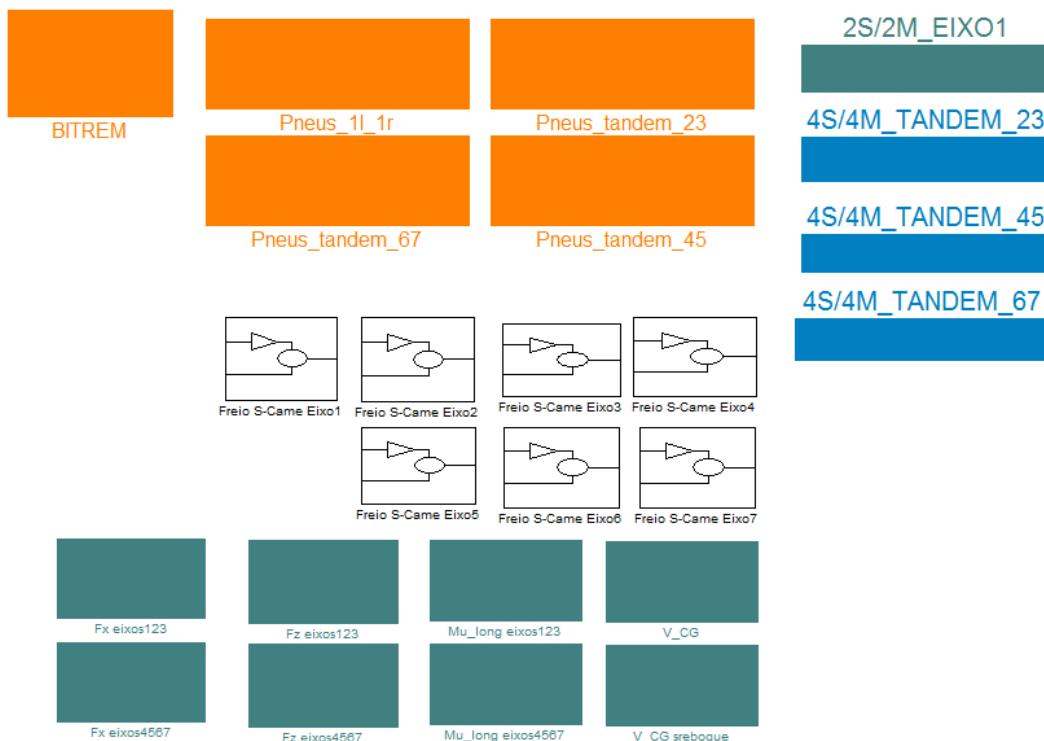


Figura 10 Tela do programa de simulação

Na Figura 10 está representado o caso de um sistema ABS que proporciona controle independente para todas as rodas. Para alterar essa configuração, basta substituir os blocos apropriados por outros em função da modularidade do programa. Tal característica também pode ser observada na associação dos demais blocos para reproduzir o veículo alvo. As

informações são enviadas ao Workspace através dos blocos de saída do programa e, então, é possível fazer os cálculos e gráficos de interesse.

A modelagem multi-corpos fica mais clara com as figuras abaixo. A Figura 11 mostra a conexão dos blocos que simulam cada elemento da combinação e a Figura 12 traz em detalhes a modelagem do cavalo mecânico.

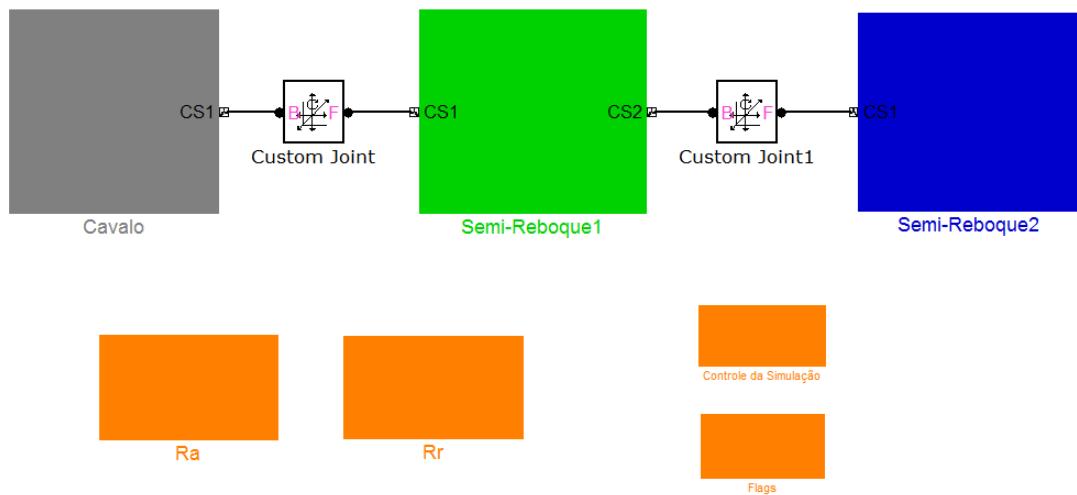


Figura 11 Modelagem da composição representando o veículo bitrem

As linhas marcam a conexão entre os blocos que representam as unidades da combinação e entre os chassis e os blocos que modelam as rodas e suspensões dos eixos. As posições, velocidades e acelerações tratadas neste trabalho foram mensuradas nos centros de massa. Todas as dimensões e massas foram estabelecidas com base em dados de um veículo real da categoria.

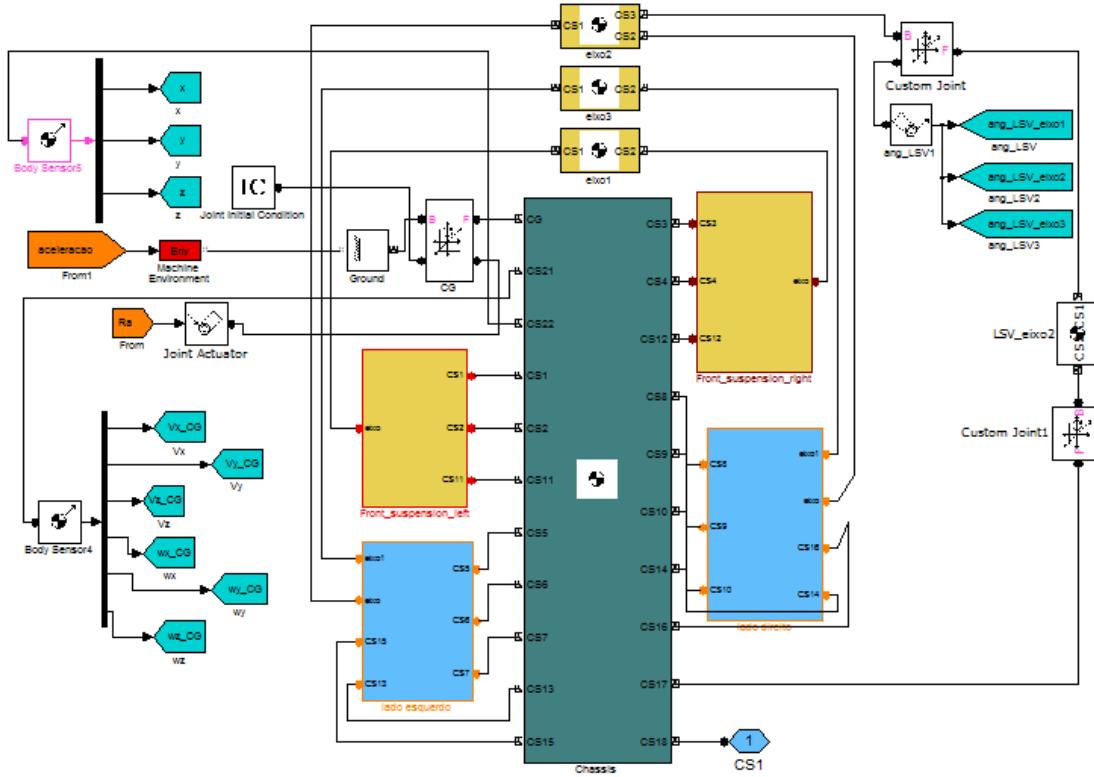


Figura 12 Modelagem em multi-corpos do cavalo mecânico

O controle da simulação se dá pela definição das variáveis de controle, antes do início da simulação, que devem reproduzir as atitudes do “motorista” frente ao percurso programado. A tela de configuração do controle segue na Figura 13:

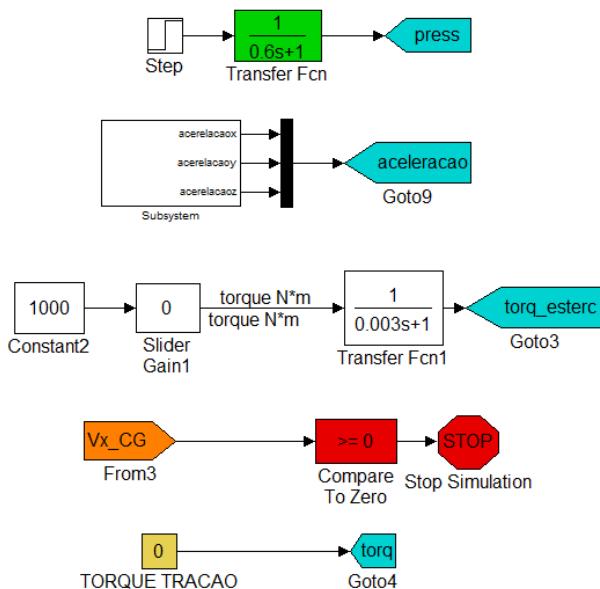


Figura 13 Variáveis de controle da simulação

Trata-se, portanto, de um modelo com dinâmica veicular lateral e longitudinal, passível de expansões para estudos de outras finalidades. É, ainda, facilmente adaptável a diversas particularidades de veículos encontrados na frota nacional, devido à quantidade de parâmetros que considera na caracterização da unidade.

O modelo foi utilizado para simular frenagens de 20 m/s a zero, com uma desaceleração específica crescente, a fim de verificar a demanda de aderência nos eixos ao longo do processo. Em cada simulação foi utilizado um conjunto diferente para o sistema ABS e a comparação dos resultados é feita no Capítulo 4.

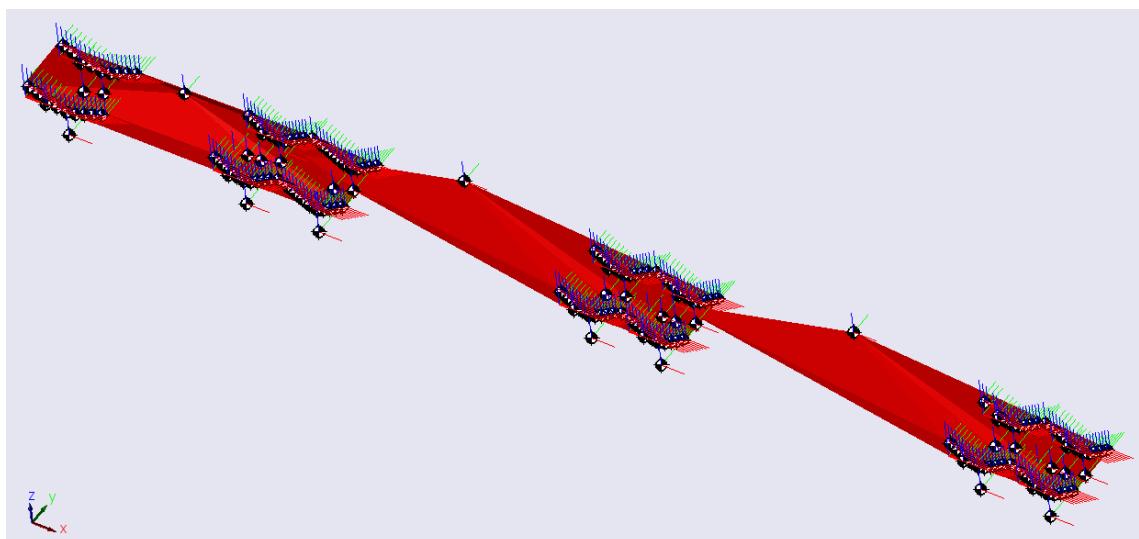


Figura 14 Representação tridimensional do veículo bitrem modelado

4. RESULTADOS

4.1. Comparação entre diferentes sistemas ABS

Apesar de diferentes quanto à frenagem desenvolvida, as simulações partem de um início em comum. Para obter uma resposta livre de perturbações transitórias, é necessário deixar o sistema em repouso para a acomodação das juntas e, em seguida, acelerá-lo de maneira uniforme. Isso é conseguido com a definição do vetor aceleração para o sistema, cujas componentes (m/s^2) estão representadas nos eixos verticais da Figura 15, em função do tempo (s), nos eixos horizontais:

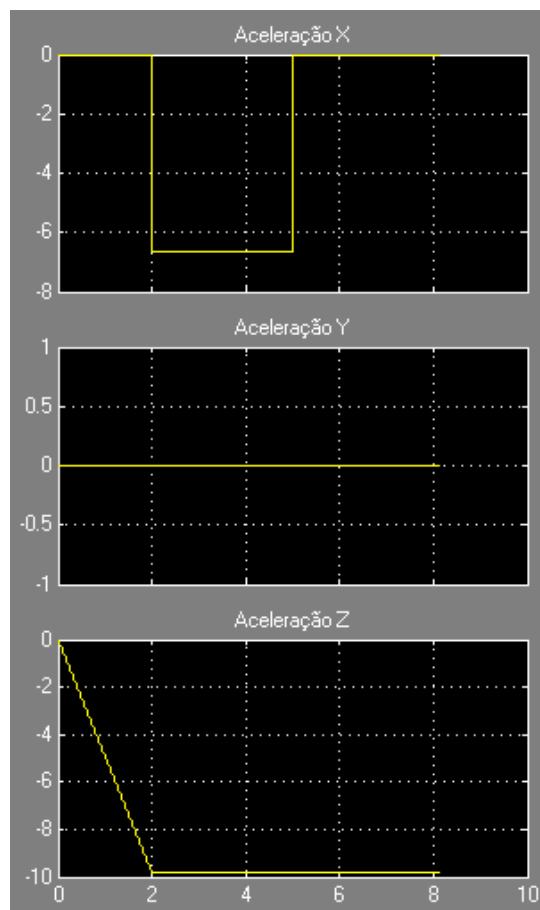


Figura 15 Aceleração aplicada ao veículo ao longo da simulação

A acomodação gradual é alcançada com a aplicação crescente da aceleração da gravidade, até o valor de regime. Após esse período, uma aceleração no eixo longitudinal permite que todos os corpos do sistema acelerem de modo conjunto, sem induzir vibrações. Quando o veículo alcança a velocidade a partir da qual se desenvolverá a frenagem, essa componente da aceleração é eliminada.

A frenagem é realizada com a aplicação também gradual da pressão do ar no circuito de freios. Ao longo do processo é observada a utilização de aderência no contato entre pneu e pavimento, para cada um dos eixos. No caso da simulação com todos os eixos controlados por sistemas ABS independentes, com máxima aderência disponível igual a 0.8, tem-se:

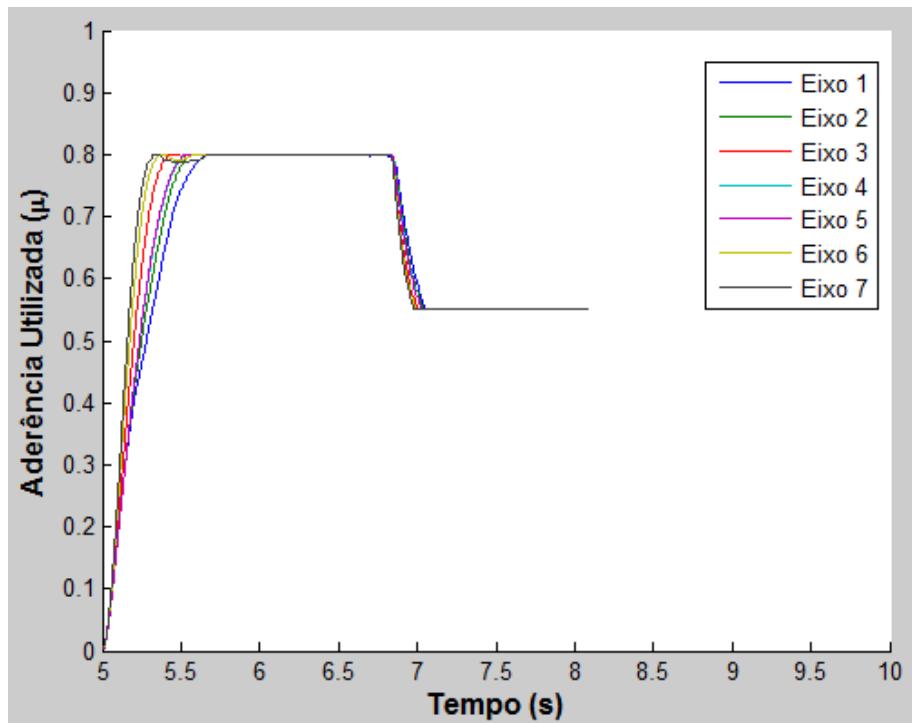


Figura 16 Utilização de aderência com sistemas ABS 4S/4M

Verifica-se que os pneus são mantidos na faixa de utilização ideal de aderência. Isso se dá através do monitoramento do escorregamento relativo de cada uma das rodas. Quando alguma mostra sinais de aumento além do desejado, o torque de frenagem é controlado para reduzir sua intensidade efetiva, através da modulação da pressão do ar no circuito de freios.

Através da formulação do conceito de eficiência exibida no Capítulo 3, nota-se que a eficiência alcançada por esse caso simulado é próxima de 100% em quase todo o período. Além disso, em determinado momento a eficiência sofre uma queda drástica. Isso ocorre porque quando o veículo está abaixo de 7 m/s o ABS tem seu funcionamento interrompido e as rodas travam.

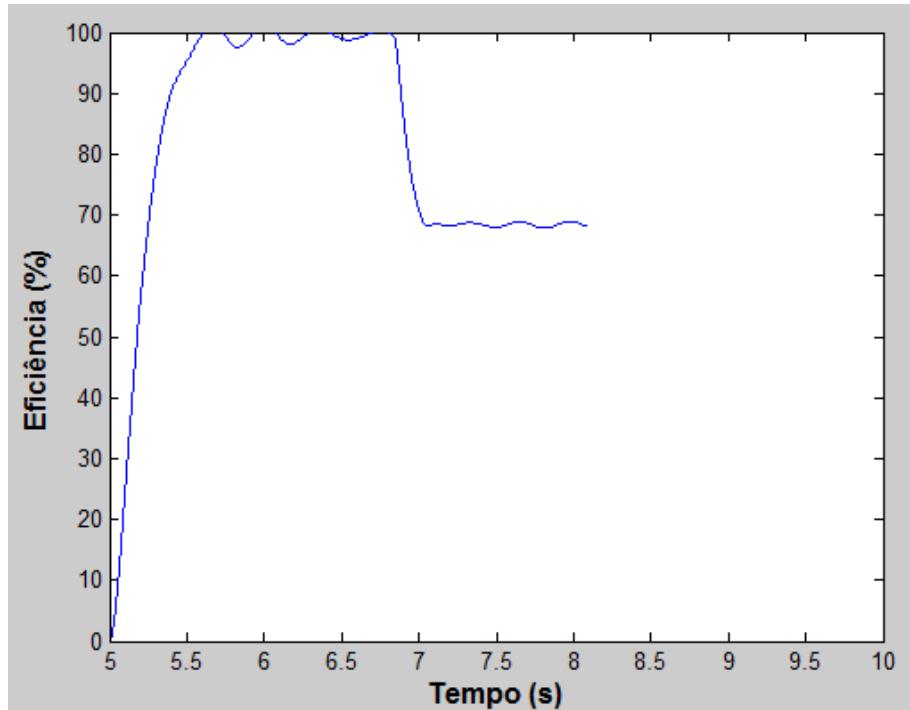


Figura 17 Eficiência com sistemas ABS 4S/4M

Para efeito de comparação foram simulados os seguintes sistemas ABS:

- 4S/4M
- 4S/3M
- 4S/2M
- 2S/1M

A aderência disponível no contato entre o pneu e o pavimento foi determinada como 0.6 no lado direito do veículo e 0.3 no lado esquerdo. Esse artifício visa dar uma maior evidência ao trabalho dos sistemas ABS que possuem um mesmo sensor controlando mais de um atuador.

Ocorrerá a situação na qual uma roda que ainda pode oferecer uma maior força de frenagem passa a ser contida em função do sensor que a controla estar fazendo a leitura de outra roda, já

na iminência do escorregamento. A Figura 18 ilustra bem esse ponto. Ao frear um veículo com uma aderência disponível de 0.6 em sua lateral direita e 0.3 na esquerda, quase todos os eixos têm sua utilização de aderência restrinida pela roda de menor aderência disponível.

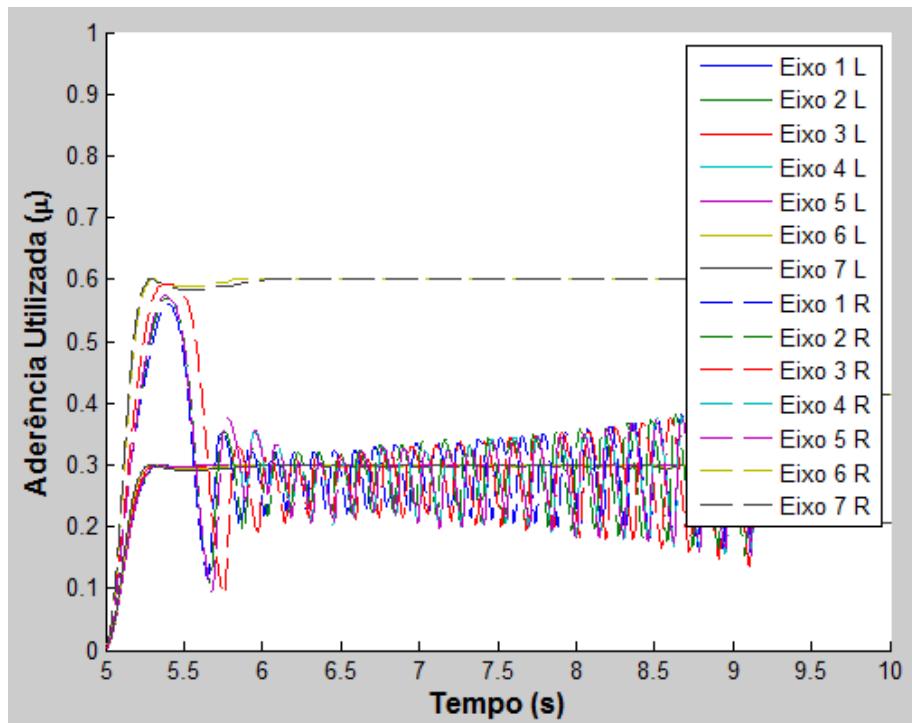


Figura 18 Utilização de aderência em pavimento assimétrico e sistemas ABS 2S/1M

Diferente situação é aquela com sistemas ABS independentes. Ainda que o pavimento seja assimétrico em relação à aderência, cada roda é mantida em seu limite operacional com a utilização máxima da aderência disponível em cada lado. Esse caso ocorre na frenagem ilustrada pela Figura 19, quando no mesmo pavimento assimétrico exemplificado passa-se ao uso do sistema de controle independente. Pode-se notar que cada conjunto de rodas é mantido na utilização da máxima aderência disponível.

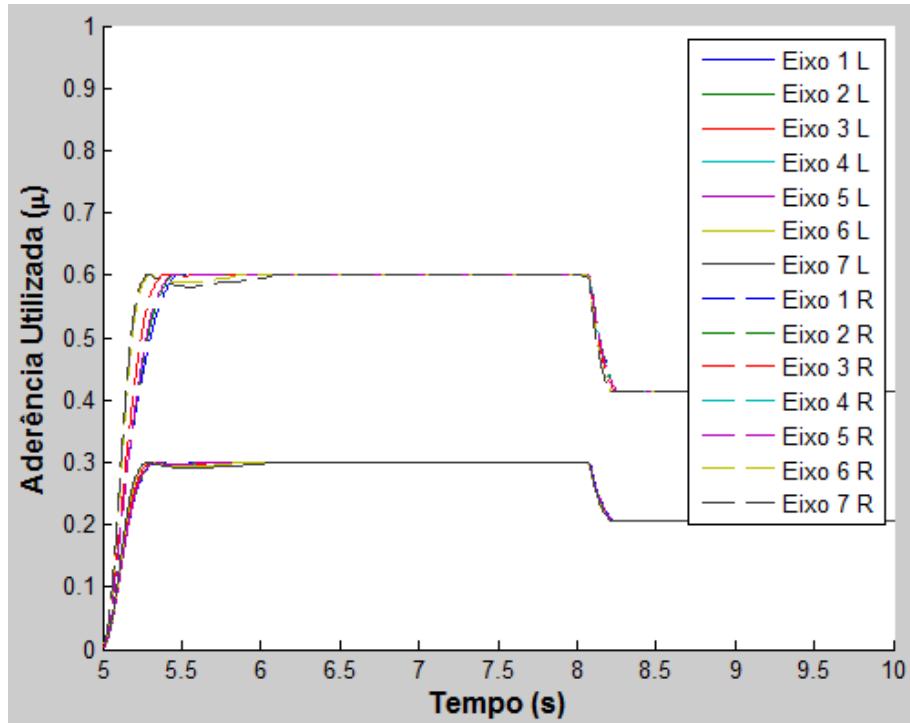


Figura 19 Utilização de Aderência em pavimento assimétrico e sistemas ABS 4S/4M

Comparando a eficiência verificada com o uso de diferentes sistemas ABS em pavimento assimétrico em relação à aderência, pode-se construir um gráfico como o da Figura 20.

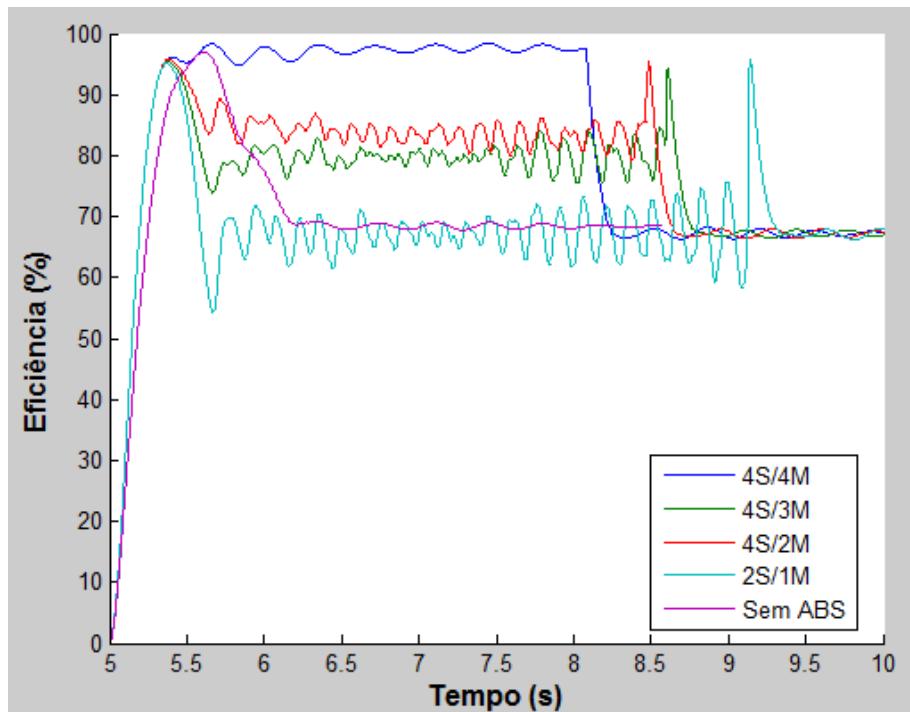


Figura 20 Eficiência de diferentes sistemas ABS

ABS	Eficiência
4S/4M	97%
4S/3M	80%
4S/2M	85%
2S/1M	70%
Sem ABS	70%

Tabela 5 Eficiência média em regime dos sistemas ABS simulados

Os dados da Figura 20 são traduzidos em valores médios de eficiência na Tabela 5. A observação imediata é a de que a idéia segundo a qual uma maior relação entre no número de sensores e o de atuadores implicará em uma maior eficiência não está totalmente correta. De fato, o 4S/3M alcançou uma eficiência inferior à do 4S/2M. Isso ocorre uma vez que, no 4S/2M, o controle se dá pelos lados e os pneus conseguem a máxima utilização da aderência disponível. No 4S/3M, entretanto, existe um eixo cujas rodas dos dois lados compartilham um mesmo controle. Assim, existirá a restrição de ambas pela utilização de aderência daquela que primeiro se aproximar da condição de máxima utilização.

É notável também o resultado do sistema 2S/1M, que apresentou eficiência média igual à de um veículo sem qualquer sistema ABS. Sua eficiência é baixa em função do controle compartilhado de cada atuador, comprometido em impedir o escorregamento de mais de uma roda. Contudo, estabilidade e dirigibilidade não são comprometidas dado que as rodas não experimentam o travamento.

4.2. Caso em que nem todas as unidades da combinação possuem ABS

É de interesse, também, buscar observar o caso em que uma ou mais unidades do veículo bitrem não possuem ABS. Seja por que alguma delas é mais antiga, ou simplesmente porque o sistema não foi instalado por opção, deseja-se saber o comportamento do conjunto.

Analogamente, foi realizado um conjunto de simulações a fim de obter esses dados. Utilizando apenas sistemas ABS independentes (4S/4M) comparam-se os casos:

- Apenas cavalo com ABS
- Apenas primeiro semi-reboque com ABS
- Apenas segundo semi-reboque com ABS
- Apenas cavalo sem ABS
- Apenas primeiro semi-reboque sem ABS
- Apenas segundo semi-reboque sem ABS

O sistema ABS controlará a aderência utilizada na unidade em que estiver instalado, enquanto as demais, desprovidas de monitoramento do escorregamento relativo, terão suas rodas levadas ao travamento. Seguem, na Figura 21, as curvas de eficiência para comparação.

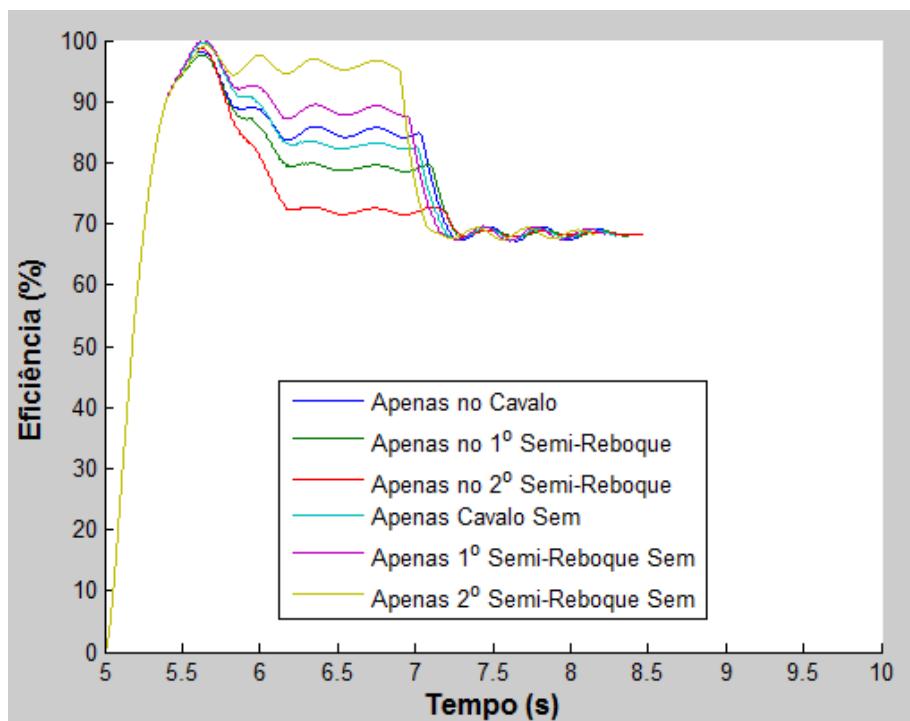


Figura 21 Comparaçāo da ausēncia de sistemas ABS em uma ou mais unidades

Os casos com maior eficiência foram aqueles com a ausēncia de sistema ABS apenas em uma das unidades rebocadas. Além disso, é preferível ter apenas o cavalo mecânico provido de ABS do que em apenas uma das unidades rebocadas tenha ABS, ou em ambas.

Todos os casos são intermediários às situações em que todas as unidades possuem sistemas ABS e quando nenhum ABS está instalado. Desses, quatro têm eficiência muito próxima, enquanto que a presença de ABS apenas no cavalo mecânico e no primeiro semi-reboque é superior. Da mesma forma, quando existe ABS apenas no segundo semi-reboque a eficiência será próxima do caso em que todas as rodas travam pela ausência de ABS.

5. CONCLUSÃO

As curvas apresentadas no Capítulo 4 provêm uma boa noção comparativa do comportamento de cada um dos sistemas ABS, entretanto em um primeiro momento todos eles parecem estar muito próximos e imagina-se ser indiferente a escolha por um ou outro. Todavia, à luz da Figura 22 percebe-se que essas mínimas diferenças são, de fato, verdadeiramente representativas.

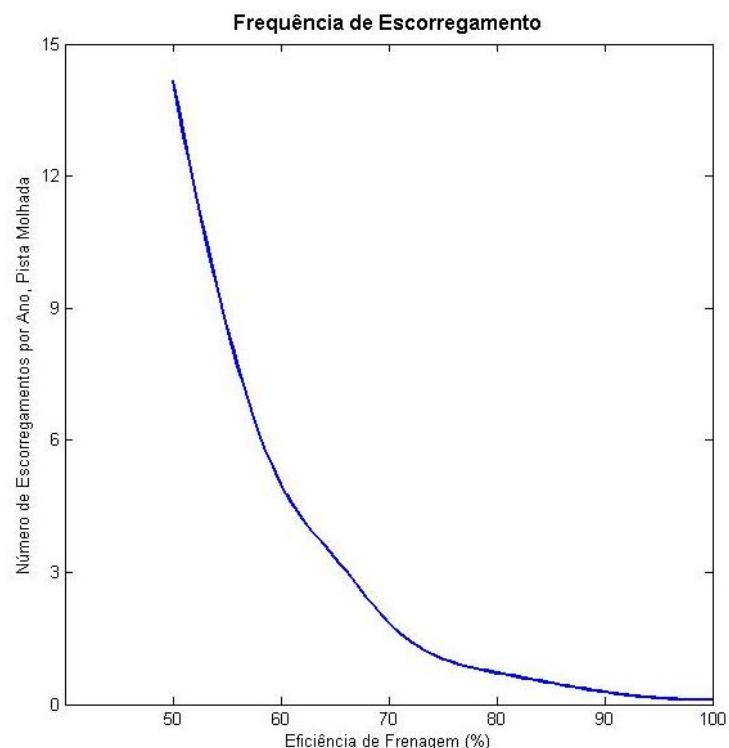


Figura 22 Relação entre escorregamento e eficiência de frenagem (Canale, 1989)

Quanto menor for a eficiência alcançada pelo sistema de freios, mais próximo de um acidente estará o veículo. Agentes externos podem ser complicadores nesse cenário, quando altos índices pluviométricos, pavimentos mal conservados e veículos carentes de manutenção são verdadeiros vilões para as especificações de segurança.

Ainda assim, no caso de não ser possível fazer uso do sistema ABS mais sofisticado, percebe-se que em determinada faixa de modelos um maior número de sensores e atuadores não

necessariamente implicará em uma maior eficiência. Dentre os casos analisados tem-se o sistema 4S/2M com uma eficiência acima do 4S/3M, bem como o sistema 2S/1M posicionando-se em nível com a ausência de ABS. Vale lembrar, conforme mencionado anteriormente, que o caso do ABS 2S/1M ainda justifica-se pela prevenção do travamento das rodas, apesar de não possibilitar o aproveitamento integral da aderência disponível.

Voltando-se para a ausência de sistemas ABS em uma ou mais unidades da combinação pode-se dizer que, se for possível combinar veículos atualizados com sistemas ABS juntamente àqueles que ainda não os possui, ainda será verificado um ganho. A priorização daquelas unidades mais à frente da combinação (cavalo mecânico e primeiro semi-reboque) é preferível em função da utilização da maior força normal aí verificada pela dinâmica da frenagem.

6. BIBLIOGRAFIA

Boselli Giane Mapeamento das Mortes por Acidentes de Trânsito no Brasil [Relatório] / Área de Estudos Técnicos ; Confederação Nacional dos Municípios. - 2009.

Canale A. C., Botelho J. H., Oliveira, L. F. C. e Viveros H. P. Seleção de ABS para o Mercado Brasileiro aplicado em um cavalo mecânico semirebpoque com suspensão em tandem [Conferência]. - Caxias do Sul, Rio Grande do Sul : SAE CAXIAS DO SUL, 2010.

Canale Antonio Carlos [et al.] A importância de um plano de revisão e complementação das normas e regulamentações de frenagem de veículos rodoviários de carga no Brasil [Conferência] // International Brake Colloquium & Engineering Display / ed. SAE. - Gramado, Rio Grande do Sul : SAE CAXIAS DO SUL, 2005. - Vol. v.1. - pp. 37-42. - legislação freios.

Canale Antonio Carlos Automobilística: Dinâmica e Desempenho [Livro]. - São Carlos : Livros Érica Editora LTDA, 1989.

CNT: SEST: SENAT Pesquisa CNT de Rodovias 2010: relatório gerencial [Relatório]. - Brasília : [s.n.], 2010.

Gardinalli Geraldo José Comparação do desempenho de frenagem simulada x experimental de um veículo de passeio com freios hidráulicos e ABS [Livro]. - São Carlos : EESC-USP: dissertação, 2005. - Vol. I : I : p. 102. - orientador: Canale, A. C..

Giória Gustavo dos Santos Influência da utilização do ABS na segurança veicular baseada na eficiência de frenagem e na probabilidade de travamento de roda [Livro] / ed. mestrado Dissertação de. - São Carlos : Universidade de São Paulo, 2008. - Vol. 1 : p. 123. - Dissertação de Mestrado.

OECD A Record Decade for Road Safety [Conferência] // International Transport Forum. - Paris, França : Press Release, 2010.

Soares Ricardo Jornal Hoje [Online] // Globo.com. - Globo, 2 de 11 de 2010. - 21 de 11 de 2010. - <http://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2010/11/caminhoes-estao-envolvidos-em-25-dos-acidentes-nas-estradas.html>.

Valor Idade da frota caiu de 9,4 para 9 anos [Online] // Valor Econômico. - 19 de agosto de 2009. - <http://www.valoronline.com.br/>.