

AVALIAÇÃO DINÂMICA DE FRENAGEM DE UM VEÍCULO ENVOLVIDO NUM ACIDENTE CONSIDERANDO A ATUAÇÃO DE UM SISTEMA DE FREIO EQUIPADO COM SISTEMA DE ANTIBLOQUEIO DE FREIO - ABS

DUTRA, Pedro Rafael Gonzales

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. pedro.rafa.dutra@gmail.com

GOMES, Fábio Souza

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. fabioengenheiromec@gmail.com

RODRIGUES, Rosemberg Fortes Nunes

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. rosemberg.rodrigues@docente.unievangelica.edu.br

Resumo

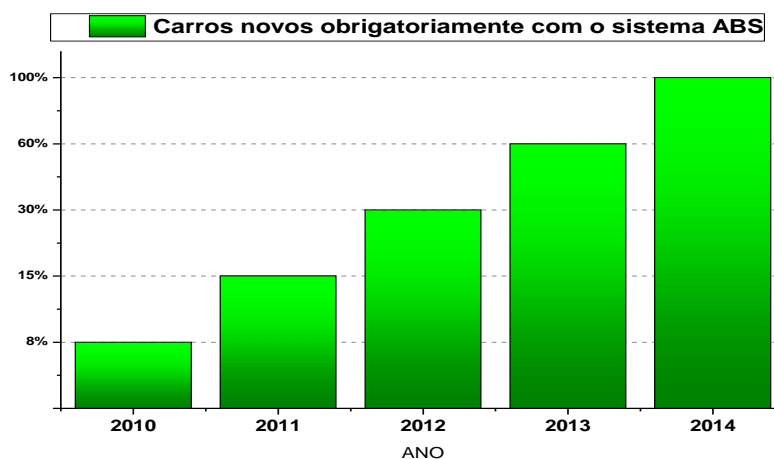
O tráfego de veículos de passeio, ainda apresenta um alto número de fatalidades, apesar das novas tecnologias de segurança embarcadas. Nos anos de 2009 a 2019 ocorreram um total de 527.912 fatalidades em vias brasileiras. Em vigor a Resolução CONTRAN nº 312 de 03/04/2009 torna obrigatório, que todos os veículos comercializados em território nacional devem ter o sistema ABS (Anti-Lock Brake System) embarcado por motivos de segurança. O sistema ABS impede o travamento das rodas do veículo, mantendo assim sua estabilidade e dirigibilidade em frenagens emergenciais. Este estudo de caso analisa uma colisão onde um veículo, equipado com pneus adequados, sem o sistema integrado, que necessitou fazer uma frenagem emergencial a 80,1km/h e percorreu 32 metros até sua parada total, assim colidindo, caso o veículo possuísse o sistema, que reduz a distância de frenagem em asfalto seco em até 20%, no caso estudado o veículo pararia completamente em 25,6 metros, antes mesmo de colidir com o outro veículo, em outro caso, por não perder a dirigibilidade durante a frenagem o condutor poderia desviar do veículo assim evitando a colisão.

Palavras-Chave: Frenagem; ABS; Sistema de freio; Segurança.

1 Introdução

O Conselho Nacional de Trânsito, por meio da Resolução CONTRAN nº 312 de 03/04/2009 [1] e da Resolução CONTRAN nº 380 de 28/04/2011 [2], em convenção com a Organização das Nações Unidas (WP. 29), estabelece como obrigatório que todos os veículos de passeio novos comercializados no Brasil, nacionais e importados, sejam equipados com o sistema ABS, sendo implementado proporcionalmente entre 2010 e 2014, Gráfico 1. De acordo com o Conselho Nacional de Trânsito alguns pontos foram ressaltados para a importância dessas resoluções, sendo eles, a necessidade de atualizar os veículos em requisitos de segurança, garantir a segurança dos condutores e passageiros dos veículos e também a conservação da dirigibilidade dos veículos durante o processo de frenagem.

Gráfico 1: % de Veículos com ABS comercializados no Brasil.



Fonte: [Do autor baseado na Resolução CONTRAN nº 312 de 03/04/2008]

O ABS é um sistema acoplado ao sistema de freio convencional, possui uma série de sensores embarcados e um módulo, onde ele recebe a pressão exercida pelo condutor, multiplicada pelo servo-freio, e por meio dos sensores, calcula e distribui essa pressão para cada uma das rodas, assim evitando o travamento delas individualmente, aumentando consideravelmente a eficiência da frenagem, diminuindo o espaço de frenagem e mantendo a dirigibilidade do veículo em praticamente todos os tipos de terreno, desse modo trazendo mais segurança em frenagens emergenciais e conseqüentemente diminuindo o número de acidentes causados por travamento de rodas e perda de dirigibilidade e, também, em acidentes “inevitáveis”, reduz a gravidade se comparado com um sistema sem o ABS [3,4].

Figura 1: Tecnologia embarcada ABS



Sensor de rotação



Anéis de impulso



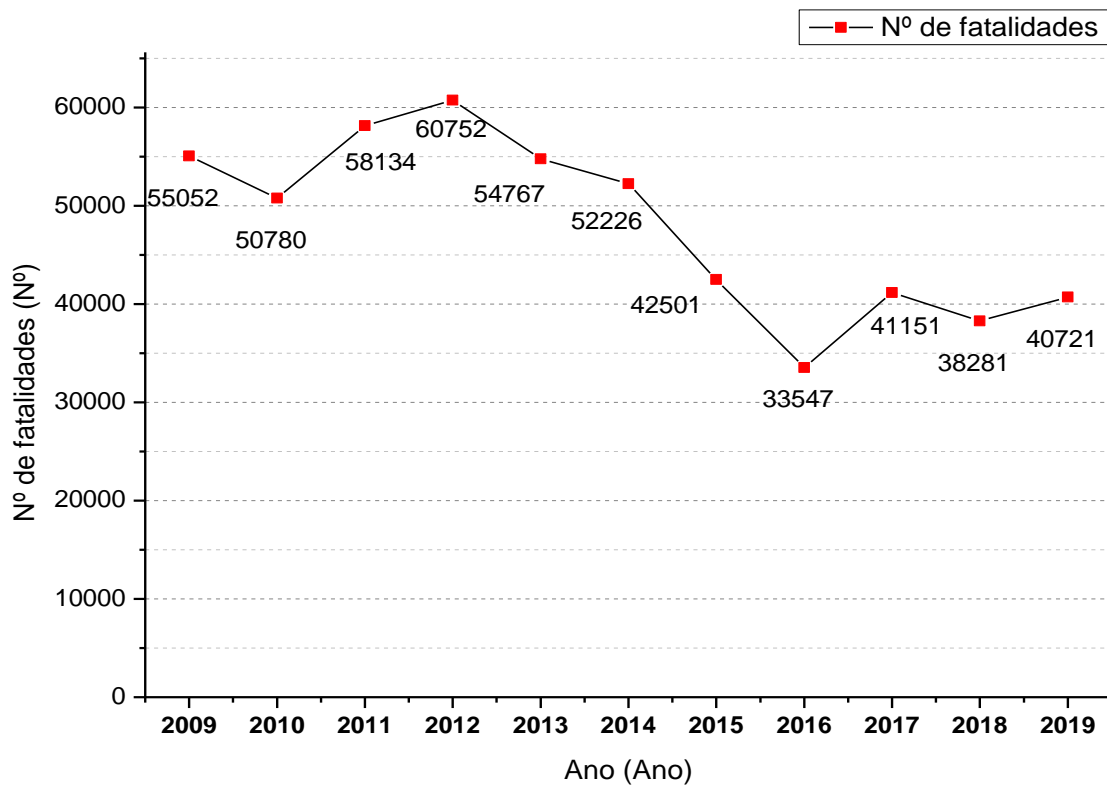
Unidade de comando eletrônico

Unidade hidráulica

Fonte: [5]

De acordo com o DPVAT As vias brasileiras acumulam um total de 527.912 fatalidades em suas vidas no período de 2009 a 2019, conforme demonstra o gráfico 2.

Gráfico 2: Nº de fatalidades em vias brasileiras de 2009 a 2019



Fonte: [Do autor com base no banco de dados do DPVAT]

Como representado no gráfico 2, é visível a diminuição de fatalidades a partir de 2015, 1 ano após a determinação do CONTRAM englobar 100% dos veículos comercializados, e ainda apresentando uma queda maior ainda em 2016, nos anos subsequentes houve uma estagnação deste número, porém continua sendo números positivos quando se trata de vidas.

Chegando a matar mais do que crimes violentos em pelo menos 34% dos estados do Brasil conforme a manchete da figura 2. Esses números elevados, chamam a atenção da engenharia da mobilidade e do setor automotivo.

Figura 2: Manchete “Trânsito mata mais que crimes violentos em nove estados”



Fonte:[6]

Dado estes argumentos, este trabalho tem como objetivo comprovar a eficiência do sistema ABS e demonstrar por meio de um evento (colisão) o comportamento dum veículo envolvido num acidente, caso este fosse equipado com o sistema de antibloqueio de freio – ABS.

2 Histórico

Segundo [7] o primeiro sistema com uma função semelhante ao atual ABS foi o “slip-prevention regulator” utilizado em veículos ferroviários, com o intuito de evitar o escorregamento de rodas durante frenagens, já em 1936 a Bosch, empresa alemã conhecida por fornecer tecnologias para as grandes montadoras patenteou um sistema que tinha como objetivo não permitir o travamento das rodas durante o acionamento dos freios, sistema que teve um grande impulso no desenvolvimento em detrimento da Segunda Guerra Mundial.

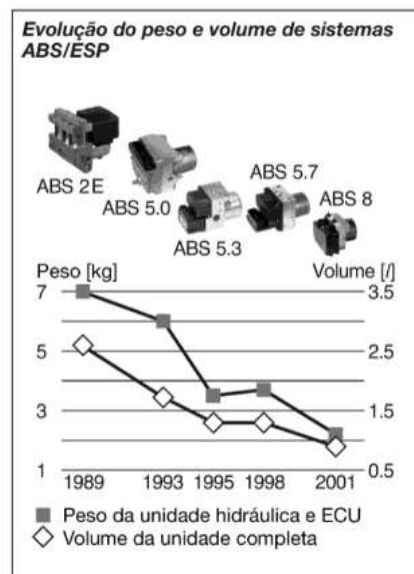
O primeiro protótipo, precursor do ABS atualmente empregado se deu em 1964, primeiramente desenvolvido por Heinz Lieber, conhecido como “pai do ABS”, e aplicado em automóveis da Daimler-Benz. O primeiro ABS de fato construído se deu em 1970 e foi batizado de “ABS 1”, que ainda se tratava de um dispositivo robusto, de funcionamento mecânico, ocupando grande parte do veículo em si, além de ter um número elevado de componentes[7,8].

Foi somente após 8 anos que seu sucessor foi desenvolvido e disponibilizado em maior escala no mercado, se tratava do “ABS 2” a priori equipando o luxuoso Mercedes Classe S, um sistema menor fisicamente e em número de componentes, apenas 14% se comparado com seu antecessor direto, e por se tratar de um sistema já com microeletrônica embarcada, foi considerado confiável [8].

Após sua segunda versão o sistema teve uma evolução veloz e já em 1983, segundo [7], o sistema “ABS 2S” foi lançado, pesando 4,3kg e com aproximadamente 7%, numericamente, de componentes da sua primeira versão.

Ainda no final da década de 80, o sistema empregou uma memória programável, ao invés de um circuito digital, carregando o nome de “ABS 2E”, com uma capacidade de 8kByte e trouxe outra novidade ao dispositivo, foi primeiro com uma unidade integrada, ou seja, a unidade de controle eletrônica é montada diretamente no módulo hidráulico[7]. Em 1993 foi apresentada o “ABS 5.0” com 16 kByte. Em 2001 foi lançado o até então atual “ABS 8” para automóveis, com a capacidade de 128 kByte, ou seja, 16 vezes mais potente do que a primeira versão com circuito digital, e pesando 1,7kg [7].

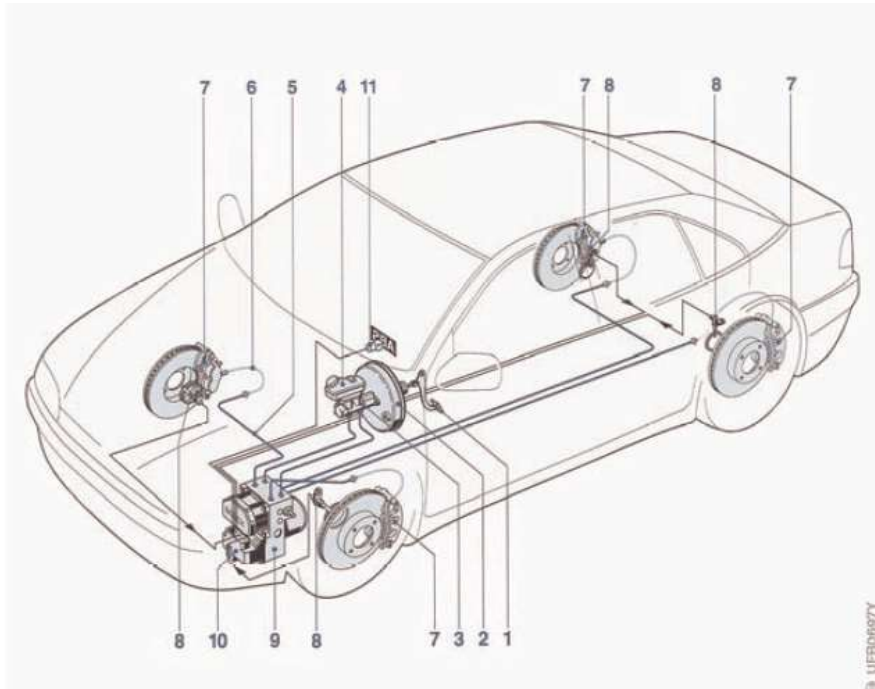
Figura 3: Evolução do peso e volume de sistemas ABS/ESP



Fonte: [9]

Em 2005 foi lançado o “ABS 8.1” com mais uma redução de peso, chegando a 1,4kg, equivalendo aproximadamente a 20% do peso da sua primeira versão. Mais recentemente, em 2009 e 2016 foram lançados o sistema “ABS 9” e “ABS 10” respectivamente, que são utilizados em motocicletas. Em 2018 a Robert Bosch GmbH comemorou 40 anos da produção em massa do sistema ABS [7,10].

Figura 4: Layout veículo de passeio com ABS



Fonte:[3]

A figura 4 representa um layout do esquema da linha de um sistema de freios com freios a disco nas rodas dianteiras e freios a tambor nas rodas traseiras, equipado com o sistema ABS [3].

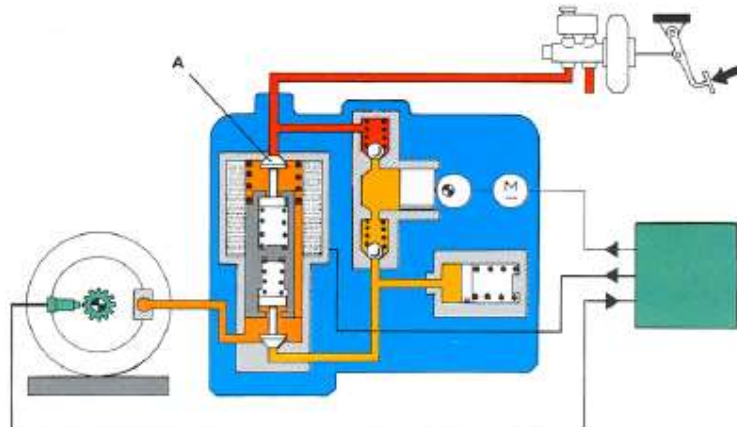
3 Funcionamento do ABS

Por meio de sensores embarcados, como o sensor Hall, que afere a velocidade angular de cada roda, o ABS impede o travamento das rodas em frenagens que, por algum motivo apresenta uma desaceleração abrupta, tendendo ao travamento das rodas [7].

Sua atuação se dá através do controle de pressão, simulando uma ativação e desativação do pedal de freio em uma frequência relativamente alta, de 4 a 10 Hz, mesmo que, o pedal esteja totalmente acionado pelo condutor durante toda a frenagem [9].

O sistema trabalha na faixa ideal de frenagem, levando em conta o deslizamento e o atrito das rodas, combinando todas as variáveis e tomando a decisão da melhor estratégia de frenagem para cada situação. Nas rodas dianteiras o sistema garante a dirigibilidade do veículo durante frenagens e nas traseiras ele garante a estabilidade [7].

Figura 5: Layout da linha de atuação ABS.



Fonte: [3]

A figura 5 representa, didaticamente de ponta a ponta, o funcionamento do sistema ABS, desde de o acionamento pelo condutor ao caminho do fluido para a pinça de freios, antes passando pelo módulo, e também a comunicação do módulo que realiza os cálculos com a roda e com o módulo ABS, distribuindo a pressão na linha conforme é necessário. [3]

As decisões do sistema se dão por meio do cálculo do deslizamento relativo, que por sua vez é um movimento entre superfícies de contato gerada ao freiar o veículo no caso. O valor ideal da uma roda girando sem deslizamento é de 0%, o cálculo do deslizamento se dá pela seguinte equação [5].

Figura 6: Equação da % de deslizamento.

$$\% \text{ deslizamento} = \frac{V_F - V_U \cdot 100}{V_F}$$

onde:

V_F = velocidade do veículo

V_U = velocidade da roda (tangencial)

$V_U = \omega \cdot r \cdot 2\pi$

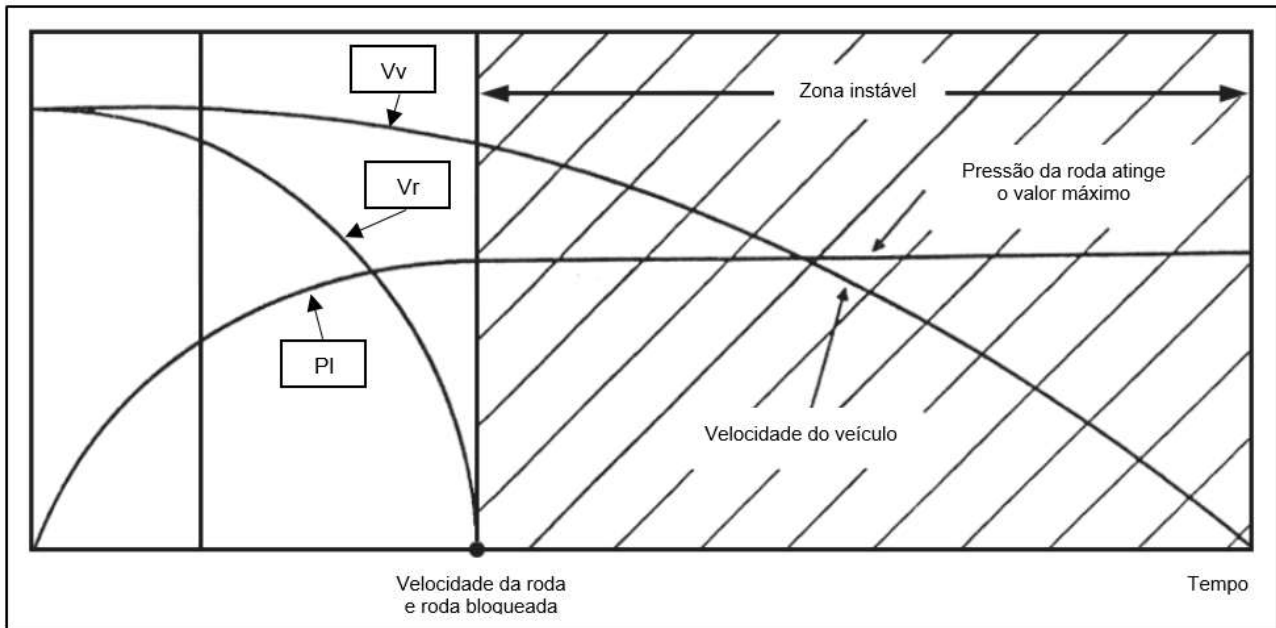
ω - ângulo de giro

r - raio

Fonte: [5]

Existe uma faixa de tolerância de deslizamento, a qual fica de 8% a 30%, onde a força de frenagem chega no seu ápice, o sistema ABS atua quando o deslizamento está acima de 30%, onde o evento entra em uma zona instável, onde mesmo quando a força de frenagem é reduzida se pode aproximar dos 100% de deslizamento rapidamente e dificilmente se recupera o controle do veículo, pois com o travamento da rodas dianteiras é perdido o controle direcional e quando se trata das rodas traseiras o veículo se torna instável, aumento o espaço de frenagem em ambos os casos [5].

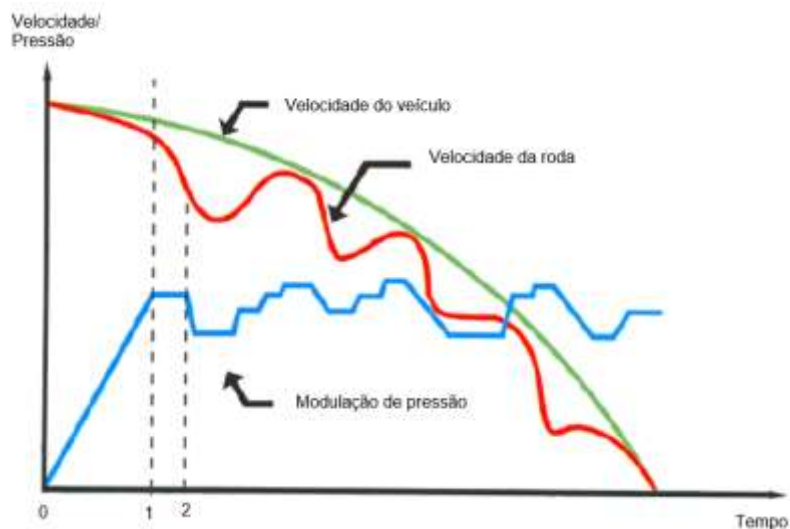
Figura 7: Processo de frenagem sem ABS



Fonte: [5]

A figura 7 apresenta o comportamento de alguns componentes do veículo durante uma frenagem, ressaltando que o veículo não possui o sistema ABS. A linha V_v representa a velocidade do veículo até sua parada total, a linha V_r , é a velocidade da roda, que toca o eixo X, chega a zona instável com um deslizamento e 100%, e com a pressão na linha de freio no máximo [5].

Figura 8: Processo de frenagem com ABS



Fonte:[5]

A figura 8, apresenta uma frenagem de um veículo com o sistema ABS embarcado, onde o ponto 0 é onde se inicia a frenagem, a linha verde representa a velocidade do veículo até sua parada, a linha vermelha é a velocidade angular da roda, oscilando de acordo com a linha azul que representa a pressão aplicada, assim evitando o travamento da roda e não o permitindo entrar na zona de frenagem instável [10].

Os pneumáticos são tão importantes quanto um sistema de freios tecnológico e evoluído, são a única parte do veículo em contato com o solo, zona de atrito, além de auxiliar a absorção de impactos em anomalias da pista. Eles afetam diretamente a estabilidade, a segurança, conforto e frenagem do carro. A banda de rodagem, parte que fica em contato com o solo, proporciona a tração, dirigibilidade, dispersão de água e a frenagem.[11,12]

No Brasil, todos os pneus comercializados têm que passar por testes e possui um selo do INMETRO, e possuem marcações em suas laterais com as especificações de suas características, além de informações relevantes para o cliente, como a data de fabricação, importante para verificar se o pneu está dentro da data de validade, que é em média de 5 anos. O pneu mesmo possuindo todos os códigos idênticos pode ainda variar sua qualidade, dependendo da fabricante deles, marcas renomadas são mais confiáveis, porém possuem um preço mais elevado.

É muito famoso os “Pneus Remold”, os quais são pneus que já teve sua vida útil acabada e recebe uma nova banda de rodagem, são mais baratos que pneus novos, porém não entregam a mesma segurança e eficiência, podendo até comprometer a segurança veicular.

Figura 8: Leitura da marcação de pneus



Fonte:[13]

Os três primeiros números indicam a largura do pneu em milímetro, os próximos dois números indica a altura em % da largura, seguido por uma letra, usualmente R (radial) ou D (diagonal), os próximos dois números indicam o ar do pneu em polegadas, já no final mais dois números indicando o índice de carga por pneu, e a letra final mostra a velocidade máxima que esse pneu pode chegar, exemplificado pela figura 9.

4 DEMONSTRAÇÃO DA DISTÂNCIA DE FRENAGEM DE UM VEÍCULO - ESTUDO DE CASO.

Para comparar a eficiência de um sistema de freio com ABS, será apresentado, por meio de um estudo de caso, um memorial de cálculo da distância frenagem percorrido por um veículo antes da colisão. Este acidente aconteceu numa rodovia que dá acesso à cidade de Anápolis-GO.

A figura 9 demonstra as marcas dos pneus do veículo que será analisado, atravessando em diagonal sobre as faixas contínuas da via.

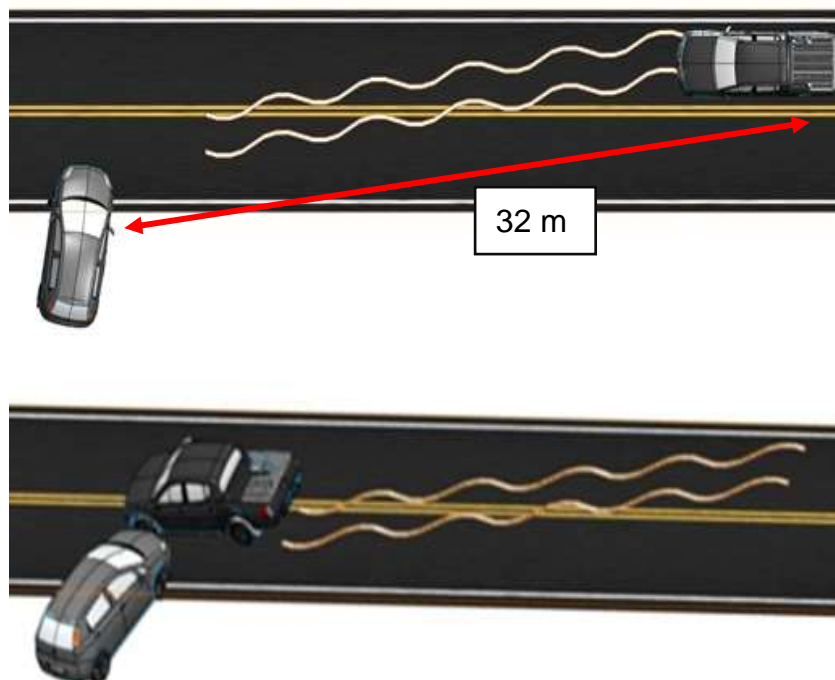
Figura 9: Imagem do local do acidente



Fonte: [do autor]

A figura 10 apresenta um croqui da posição dos dois veículos envolvidos no momento em que o deslizamento começa, do percurso da frenagem e da colisão.

Figura 10: Croqui



Fonte: [do autor]

Durante o estudo foi aferido que o veículo necessitou de 32 metros de frenagem até sua parada total, logo após a colisão.

5 MATERIAL E MÉTODO

Analisando o caso estudado, tem-se um veículo, trafegando em um trecho retilíneo em declive que teve seu freio acionado e deslizando por 32 metros até a colisão com outro veículo. O veículo viaja com a velocidade inicial de V_i no instante em que a frenagem iniciou. A aceleração resultante pode ser encontrada se utilizando a segunda lei de Newton. [14]

$$Fr = m \cdot a \quad (1)$$

O atrito é a força resultante única agindo sobre o carro durante desaceleração, portanto a Eq. (1) pode ser reescrita como:

$$a = -\mu \cdot g \quad (2)$$

Onde μ é o coeficiente de atrito, no caso asfalto seco, e g a aceleração da gravidade. Para encontrar-se a velocidade inicial de frenagem (V_{fren}) do veículo, pode-se aplicar a equação de Torricelli:

$$V_f^2 = V_{fren}^2 + 2a \cdot df \quad (3)$$

Substituindo a Eq. (2) na Eq. (3) e considerando como zero a velocidade no final do processo de frenagem, pode-se chegar à velocidade inicial de frenagem:

$$V_{fren} = \sqrt{2\mu \cdot g \cdot df} \quad (4)$$

Adota-se o veículo em movimento com energia inicial E_i adjunta à velocidade inicial V_i . Antes de colidir com o veículo, o veículo desliza por uma determinada distância. Nessa circunstância, o princípio da conservação da energia nos diz que:

$$E_i = E_{dissipada} = W_{fat} + W_{danos} \quad (5)$$

A energia dissipada nesse evento obedece às quantias de trabalho associados às forças de atrito e as avarias verificados no veículo. Como o trabalho corresponde à variação da energia cinética, pode-se reescrever a Eq. (5) como:

$$\frac{1}{2}m \cdot V_i^2 = \frac{1}{2}m \cdot V_{fren}^2 + \frac{1}{2}m \cdot V_d^2 \quad (6)$$

Onde V_d é a quantia de velocidade associada aos danos no veículo. A Eq. (6) pode ser reescrita em:

$$V_i = \sqrt{V_{fren}^2 + V_d^2} \quad (7)$$

Como a velocidade de frenagem já foi determinada na Eq. (4), pode-se assim substituir a Eq. (4) na Eq. (7), tem-se:

$$V_i = \sqrt{2\mu \cdot g \cdot df + V_d^2} \quad (8)$$

Dado que o trecho do evento é retilíneo em com declive, aplica-se a segunda lei de Newton às forças de atrito e o peso tangencial de acordo com o ângulo de inclinação. Logo:

$$F_R = P \sin \theta - F_{at} \quad (9)$$

Da Eq. (09) encontra-se a aceleração resultante. De acordo com a álgebra pode-se obter:

$$a = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) \quad (10)$$

Relacionando a Eq. (10) com a Eq. (08) tem-se:

$$V_i = \sqrt{2g \cdot d_f \cdot (\mu \cos \theta - \sin \theta) + V_d^2} \quad (11)$$

Assim, evidenciado o memorial de cálculo considerou-se a legenda com suas respectivas quantidades:

V_i = velocidade inicial de frenagem.

μ = coeficiente de atrito da interação piso – solo. Dados do software Speed Calculations for Traffic Accidents (SCTA).

g = aceleração da gravidade.

d_f = distância de frenagem deixado pelas marcas dos pneumáticos no solo.

θ = inclinação do piso (ângulo encontrado paralelo ao local do acidente. Se considerou para encontrar tal valor uma linha de 15 metros acompanhando a inclinação do piso e uma altura de nivelamento de 0,64 metros. Ressalta-se que se ponderou, como margem de segurança, para desvios de erro, 0,3 como incremento da altura em questão.

V_d^2 = quantia de velocidade adjunta as avarias no veículo. Dados do software Speed Calculations for Traffic Accidents (SCTA).

$$\mu = 0,80$$

$$g = 9,82 \text{ m/s}^2$$

$$d_f = 32 \text{ m}$$

$$\theta = -3,2^\circ$$

$$V_d^2 = 9,72 \text{ m/s}$$

Tem-se que:

$$V_i = \sqrt{2,000 \cdot 9,820 \cdot 32,000 (0,800 \cdot 0,998 - 0,055) + 9,722}$$

$$V_i = 80,1 \text{ km/h}$$

6 DISCUSSÃO E RESULTADOS

Considerando que, o veículo possuía pneus em condições normais e dentro dos parâmetros de uso e com base nas afirmações de [9,15,16], e seus experimentos teóricos e práticos, quando equipado com o sistema ABS, e em asfalto seco, como o da colisão estudada, o espaço de frenagem pode ser reduzido em até 20% em asfalto seco, logo:

$$df_{com\ abs} = 25,6 \text{ m}$$

E considerando a velocidade inicial de frenagem de 80,1 km/h, tem-se como tempo de frenagem.

$$t_{sem\ abs} = 2,9 \text{ s}$$

$$t_{com\ abs} = 2,3 \text{ s}$$

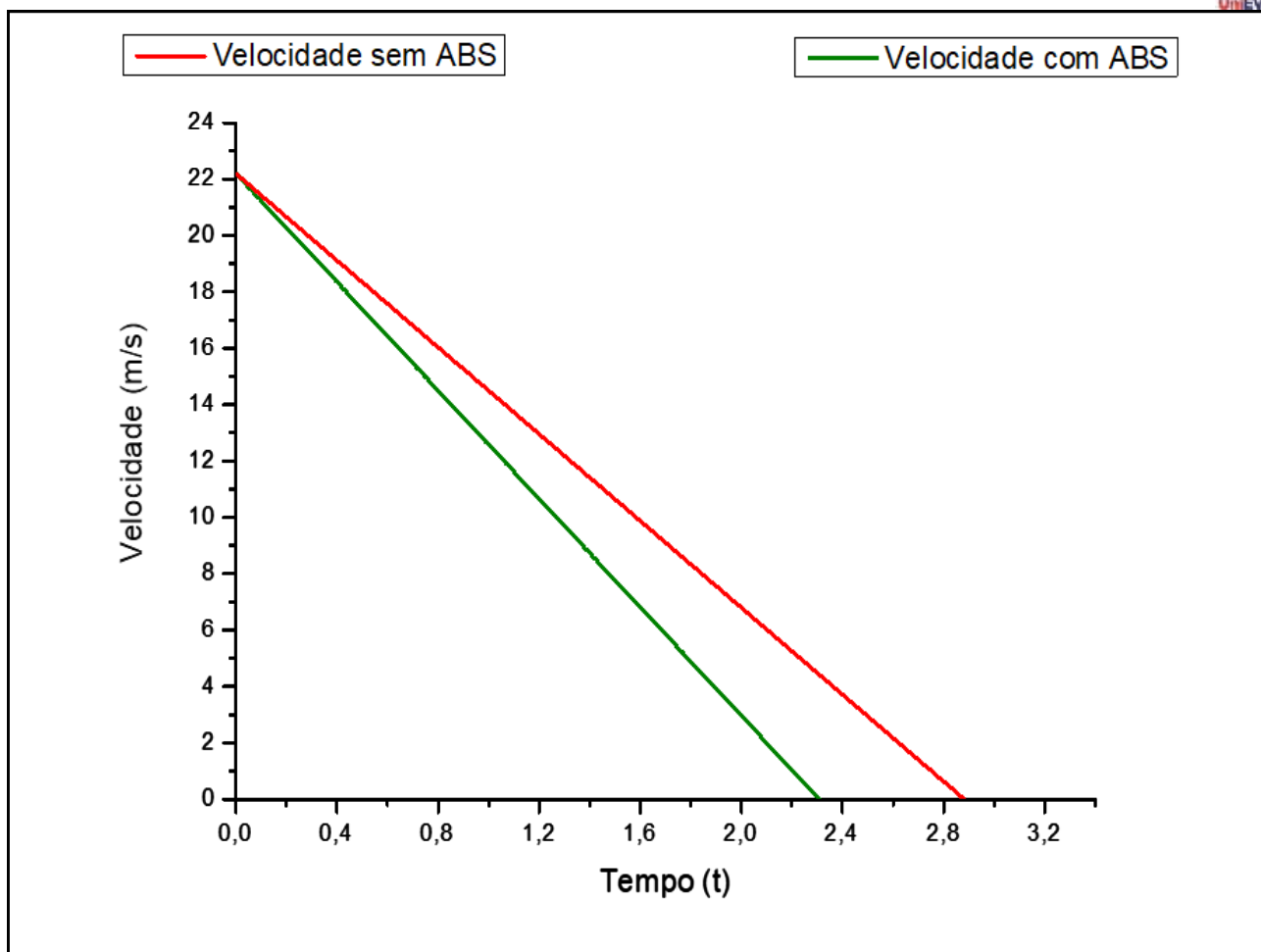
E conseqüentemente tem-se a aceleração de:

$$a_{sem\ abs} = -7,7 \text{ m/s}^2$$

$$a_{com\ abs} = -9,6 \text{ m/s}^2$$

O gráfico de VxT relacionando os dois regimes é representado por:

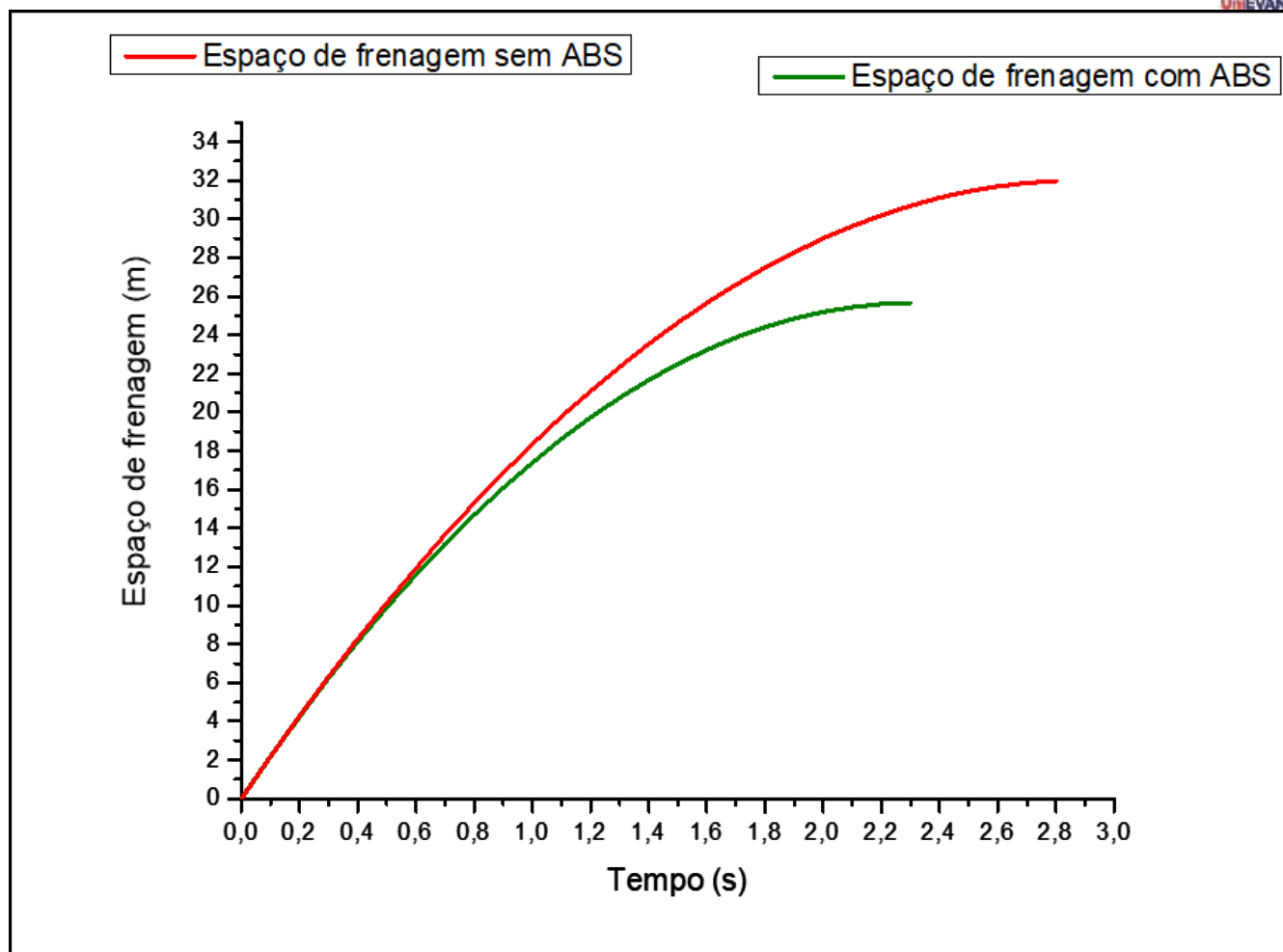
Gráfico 5: Velocidade x Tempo, comparação veículo com e sem ABS



Fonte: [do autor]

O gráfico de SxT relacionando os dois regimes é representado por:

Gráfico 6: Espaço x Tempo, comparação veículo com e sem ABS



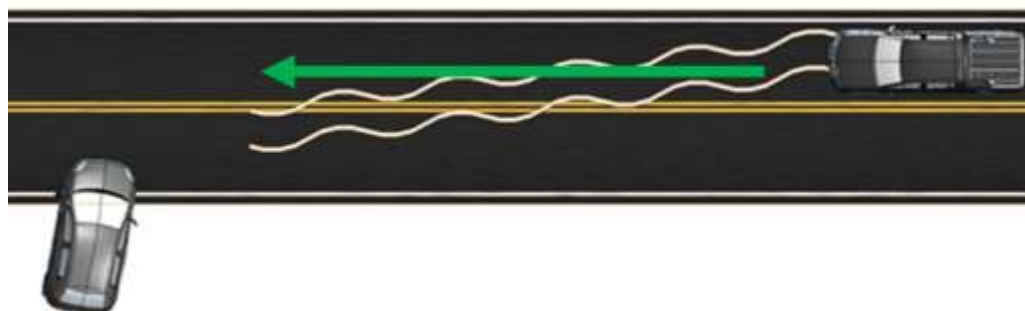
Fonte: [do autor]

7 CONCLUSÃO

Com o material exposto neste trabalho, e levando em consideração os cálculos e argumentos aqui construídos é possível afirmar que a colisão aqui exposta poderia ter sido evitada, de dois modos, caso o veículo possuísse o sistema ABS.

- O veículo não perderia o controle e possivelmente seguiria seu percurso linearmente, sem risco de colisão.

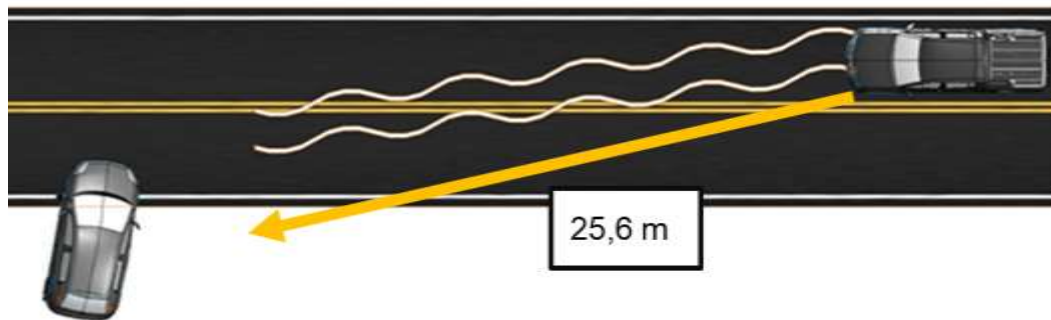
Figura 11: 1ª hipótese



Fonte: [do autor]

- O veículo não chegaria a colidir, ou caso colidisse seria com uma menor gravidade do que a ocorrida.

Figura 12: 2ª hipótese



Fonte: [do autor]

Expondo ainda mais como o sistema é efetivo, e seu efeito no trânsito brasileiro, com uma tendência a diminuir cada vez mais o número de acidentes, principalmente os fatais, ressaltando que com o passar dos anos a % da frota equipada com o sistema será maior.

Referências

- [1] BRASIL. Resolução CONTRAN nº 312 de 03/04/2009. . 2009.
- [2] BRASIL. Resolução CONTRAN nº 380 de 28/04/2011. . 2011.
- [3] BOSCH, R. **Conventional and Electronic Braking Systems: Brake Systems**. 3. ed. [s.l.] Bentley Pub, 1999.
- [4] HEISSING, B.; ERSOY, M. **Chassis Handbook**. 1st. ed. [s.l.] Vieweg + Teubner, 2011.
- [5] PACHECO, F.; MIGUEL, U. **Senai Freios ABS**, 2007.
- [6] SAMPAIO, J. **Trânsito mata mais que crimes violentos em nove estados**. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/brasil/transito-mata-mais-que-crimes-violentos-em-nove-estados/>>.
- [7] GIORIA, G. DOS S. **Influência da utilização do ABS na segurança veicular baseada na eficiência de frenagem e na probabilidade de travamento de roda**, 2008.
- [8] GARDINALLI, G. J. **COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE FRENAGEM SIMULADA X EXPERIMENTAL DE UM VEÍCULO DE PASSEIO COM FREIOS HIDRÁULICOS E ABS**, 2005.
- [9] BOSCH, R. **Manual de Tecnologia Automotiva**, 2004.
- [10] BOSCH. **Bosch celebra 40 anos do ABS**, 2018. Disponível em: <<https://www.bosch-press.com.br/pressportal/br/pt/press-release-17344.html>>
- [11] CARDOSO, H. DE F. **Automóvel sem mistérios: 50 dicas sobre tecnologia**. São Paulo: [s.n.].
- [12] PAULUS, A. A.; SÁ, F. P. G.; COSTA, R. P. Segurança Veicular. **Publicações do IFSC**, 2015.
- [13] **Aprenda a ler o pneu**. Disponível em: <<https://www.pneumar.com.br/Dicas/6>>. Acesso em: 17 jun. 2020.
- [14] GURGEL, W. P. et al. Speed calculations for traffic accidents: A software for research in Forensic Physics. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, 2015.
- [15] BORBA, T. DE. **COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO EM FRENAGEM DE VEÍCULO COM SISTEMA ABS ATIVO E INATIVO**. 2016. 63 f. 2016.
- [16] LIMA, A. et al. **COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE FRENAGEM EM VEÍCULO COM O SISTEMA ABS ATIVO E INATIVO**. p. 18, 2018.