

Validação da Medição dos Tempos de Resposta em Veículos Rebocados com Sistemas de Travagem Pneumáticos

¹ C. J. O. P. J. Alcobia, ² L. M. V. Serrano, ³ J. I. F. P. Barbosa, ⁴ M. C. G. Silva

¹ Dep. de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Inst. Politécnico de Coimbra

² Dep. de Engenharia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, Inst. Politécnico de Leiria

³ ADAI - Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

⁴ Dep. de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

RESUMO

A travagem de veículos é reconhecidamente, um dos factores determinantes na segurança rodoviária. Um dos parâmetros que permite quantificar a eficácia dos veículos rebocados, equipados com sistemas de travagem pneumáticos, é a medição do tempo de resposta, que quantifica o tempo que um veículo demora a travar.

A ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial, desenvolveu um sistema de medição do tempo de resposta em veículos rebocados equipados com sistema de travagem pneumática, envolvendo todo o circuito pneumático, toda a parte de instrumentação e ainda o software.

O equipamento construído e calibrado conforme definido pela directiva comunitária 71/320/CEE, cuja última actualização é a directiva 2002/78/CE, foi ainda sujeito a um ensaio de comparação com outro equipamento análogo, num mesmo veículo, permitindo verificar a sua eficácia e capacidade na execução de ensaios, bem como apresentou resultados que permitiram verificar a conformidade, a reprodutibilidade e fiabilidade dos resultados. Nos vários ensaios entretanto realizados, a utilização deste equipamento permitiu a verificação da conformidade dos sistemas de travagem dos veículos testados, tornando possível a homologação destes pela Direcção Geral de Viação.

Palavras chave: Travagem, veículos, tempo de resposta, reboques e ensaios de travagem.

1. INTRODUÇÃO

De forma a verificar os sistemas de travagem pneumáticos, a directiva comunitária 71/320/CEE e subsequentes actualizações até à Directiva 2002/78/CE [1] prevêem a realização de diversos testes a estes sistemas. Dos vários ensaios requeridos, a medição do tempo de resposta é talvez um dos mais difíceis de executar, devido à precisão requerida, que é da ordem dos centésimos de segundo. O tempo de resposta representa o intervalo de tempo que decorre entre os instantes em que são atingidos dois valores de pressão em dois pontos de medição distintos.

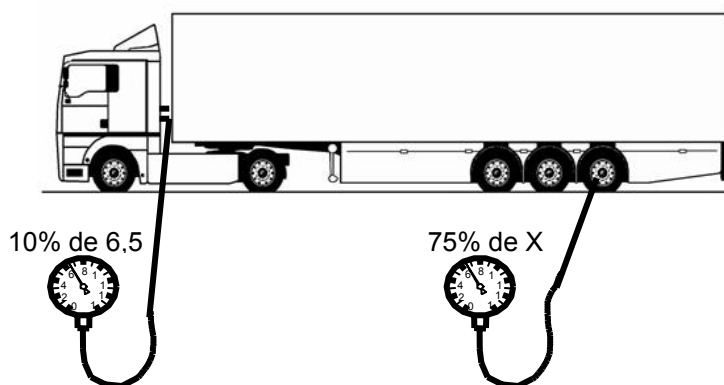


Figura 1 – Medição do tempo de resposta em veículos rebocados.

Aplicando o conceito de tempo de resposta aos veículos rebocados, a directiva anteriormente mencionada estabelece que, para uma actuação do sistema de travagem de serviço, o tempo de resposta dos sistemas pneumáticos de travagem

corresponde ao intervalo de tempo que medeia entre o instante em que no cabeçote de acoplamento, entre o veículo tractor e o veículo rebocado, se atinge um valor correspondente a 10% da pressão máxima (6,5 bar) e o instante em que, na câmara de travagem mais afastada, o sinal de pressão atinge 75% do seu valor assintótico final. O ensaio é realizado para a situação do veículo em carga, isto é quando este está com o valor de massa máxima indicada pelo fabricante. O tempo de resposta dos sistemas de travagem deve ser determinado com o veículo parado. Na figura 1 apresenta-se um esquema da medição do tempo de resposta de um semi-reboque.

Para a realização deste ensaio, os autores desenvolveram um sistema de medida que permite a medição do tempo de resposta de acordo com os requisitos indicados na directiva.

O sistema desenvolvido tem sido utilizado em ensaios de homologação de veículos rebocados das categorias O₃ e O₄, que são as que têm maior expressão ao nível do fabrico em Portugal. Alguns fabricantes também têm utilizado o sistema para efectuar testes de verificação das características do sistema de travagem no final da montagem dos seus veículos. A sua utilização ao nível das inspecções periódicas de veículos pesados está neste momento a ser equacionada, em virtude de actualmente não estar a ser verificado o tempo de resposta dos veículos, apesar de este teste estar contemplado na legislação nacional e comunitária.

Para garantir condições reprodutíveis, em termos de caudal e pressão, neste tipo de ensaios, o veículo tractor é substituído por um aparelho simulador, ao qual são ligados os cabeçotes de ligação da conduta de comando e da conduta de alimentação do reboque, sendo a pressão na conduta de alimentação fixada em 6,5 bar.

A legislação estabelece que os tempos de resposta dos sistemas de travagem de veículos rebocados devem ser inferiores a 0,4 segundos, sendo os valores arredondados ao décimo de segundo mais próximo, pelo que o valor máximo admissível é de 0,44 segundos.

Para ser possível efectuar as leituras de pressão, devem ser montadas tomadas em cada circuito independente do sistema de travagem, em locais de fácil acessibilidade e o mais próximo possível do cilindro do travão mais desfavorecido no que diz respeito ao tempo de resposta. Estas tomadas de pressão devem satisfazer a cláusula 4 da norma ISO 3583-1984.

O presente trabalho pretende apresentar o sistema desenvolvido, constituído pelo simulador de travagem, instrumentação e elaboração de software que permite a realização dos ensaios conforme requerido pela supracitada directiva europeia. Pretende-se ainda focar o trabalho desenvolvido de forma a assegurar a qualidade do sistema, quer em termos da fiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos, quer pela garantia de que esses resultados representem a realidade do sistema de travagem objecto de medição.

2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DUM SISTEMA DE TRAVAGEM PNEUMÁTICO

Os sistemas de travagem pneumáticos apresentam duas condutas principais que conduzem o ar com dois propósitos distintos. Por um lado, a conduta de alimentação, de cor vermelha, é ligada directamente a um reservatório de ar comprimido, sendo a outra conduta, de cor amarela, destinada a transmitir o sinal de travagem ou de comando, pelo que são correntemente designadas como linha vermelha e linha amarela, respectivamente. Na figura 2 apresenta-se um esquema exemplificativo dum sistema de travagem pneumático de um semi-reboque de três eixos com suspensão pneumática.

A linha vermelha, por onde é alimentado o sistema de travagem dos veículos rebocados, conforme já foi referido, apenas tem como propósito fornecer energia ao sistema na forma de ar comprimido para o reservatório existente, servindo este como uma fonte de energia do sistema de travagem. Antes do ar comprimido ser acumulado neste reservatório, ele passa por uma válvula relé que tem como função detectar alguma anomalia na alimentação do reservatório bem como se este ficar com uma reserva de energia baixa, pressão inferior a 4,0 bar, actuar de forma automática sobre o sistema provocando uma travagem de serviço com a energia existente no depósito. Será importante assinalar que com a introdução de novos sistemas com mais componentes electrónicos, como seja o EBS ("Electronic Brake System"), alguns construtores optam por retirar esta válvula. Nestes casos, existe um transdutor eléctrico que detecta a existência ou não de ar na linha de alimentação e que envia um sinal eléctrico correspondente para a unidade electrónica.

Por seu lado a linha amarela, por onde é enviado o sinal de comando da travagem, apresenta-se ligada também à válvula relé permitindo a actuação desta em caso de ruptura, conforme já referido, sendo posteriormente ligada a uma válvula denominada ALV ou LSV ("Load Sensing Valve"). Esta válvula, que pode ser de actuação mecânica ou pneumática em função do tipo de suspensão montada no veículo, tem como objectivo modular o referido sinal de travagem em função da carga do veículo.

De facto, a carga imposta ao veículo obriga à movimentação de um braço deflector sujeito à acção de uma mola devido ao deslocamento do chassis, no caso de suspensão mecânica, ou obriga ao aumento da pressão dos folios da suspensão pneumática, quando for este o caso, sendo possível, a partir desta actuação, modular o sinal da linha amarela e permitir a passagem do ar dos depósitos com a pressão que corresponde à interacção e conjugação destes dois sinais. Na figura 2, a linha azul representa o circuito pneumático da suspensão. Mais uma vez convirá referir que, no caso dum sistema com EBS, esta actuação é feita na íntegra pela unidade electrónica.

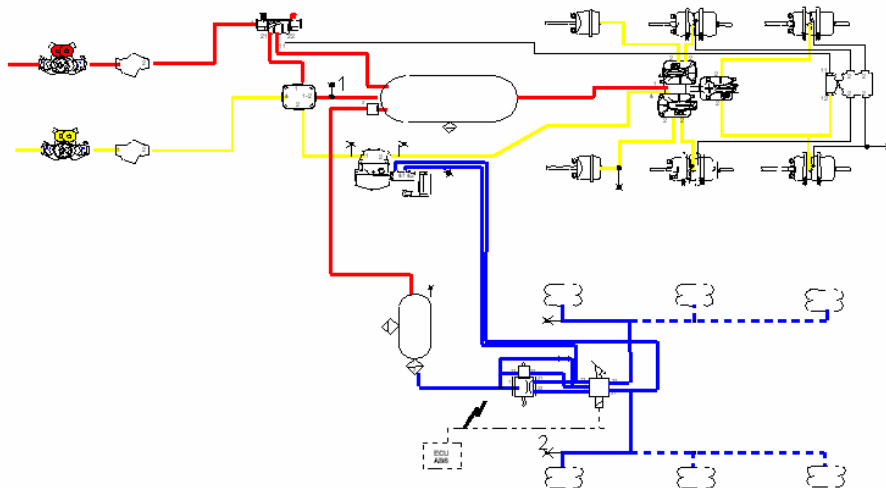


Figura 2 – Representação de um circuito de travagem típico de um semi-reboque de suspensão pneumática com ABS.

O sinal de comando modulado em função da carga segue para os moduladores da unidade ABS (“Air Brake System”), sendo este passo logicamente desnecessário no caso de sistemas com EBS, sendo então enviado para cada uma das câmaras de travagem colocadas no ou nos eixos, permitindo o deslocamento de um braço de actuação provocando o encosto dos calços ou das pastilhas de travão sobre o tambor ou sobre o disco, provocando assim a desaceleração controlada e adequada do veículo.

Nas categorias O₃ e O₄ é obrigatória a montagem de ABS, ou seja de um sistema de detecção de bloqueio das rodas. Este sistema baseia-se na colocação de sensores na proximidade de rodas dentadas solidárias com as rodas dos veículos, provocando a geração de um sinal eléctrico com a forma de uma onda quadrada. Este sinal é enviado para a unidade electrónica (ABS ou EBS) o que permite, através da sua frequência obter o valor da velocidade da roda e detectar o seu bloqueio.

A detecção de bloqueio provoca a actuação imediata e automática do ABS que alivia a pressão nas câmaras de travagem, eliminando as forças de travagem. Quando a unidade electrónica detecta que as rodas já não estão bloqueadas volta a incrementar a pressão nas câmaras de travagem [2,3,4].

3. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Desenvolveu-se um simulador que cumpre com o estipulado no anexo III da Directiva 71/320/CEE cuja construção foi executada em parceria com a empresa Reparafrota Lda. Conforme requerido no anexo III da directiva, o simulador pneumático contém uma alimentação de ar, apresentando uma válvula de corte para permitir eliminar a alimentação do simulador durante a realização do ensaio. Esta entrada permite que o ar possa ser utilizado para alimentação de ar comprimido do veículo a ensaiar e para a alimentação de um depósito interno com 30 litros de capacidade. Após este depósito, está instalada uma válvula de corte de actuação rápida e um orifício calibrado cujo diâmetro interno pode ser alterado entre 4,0 e 4,3 mm permitindo assim variar a perda de carga imposta no circuito e consequentemente possibilitar a regulação do fluxo de ar necessária para a calibração do equipamento, sendo colocado a jusante o elemento sensor para medir a pressão do ar comprimido antes deste ser enviado para o circuito de travagem. Na figura 3 apresenta-se um esquema do simulador para a medição do tempo de resposta em veículos rebocados.

Os elementos sensores seleccionados foram transdutores de pressão piezoresistivos com uma gama de utilização de 0 a 10 bar, que são adequados para este tipo de função, dado que os sistemas pneumáticos de travagem operam com pressões máximas de 8,5 bar. Um sensor foi colocado no interior do equipamento após o orifício calibrado para detectar

o valor de pressão com que o ar é enviado para o circuito enquanto que outro é instalado na câmara de travagem mais desfavorável permitindo a determinação do valor de pressão assintótico do cilindro [1].

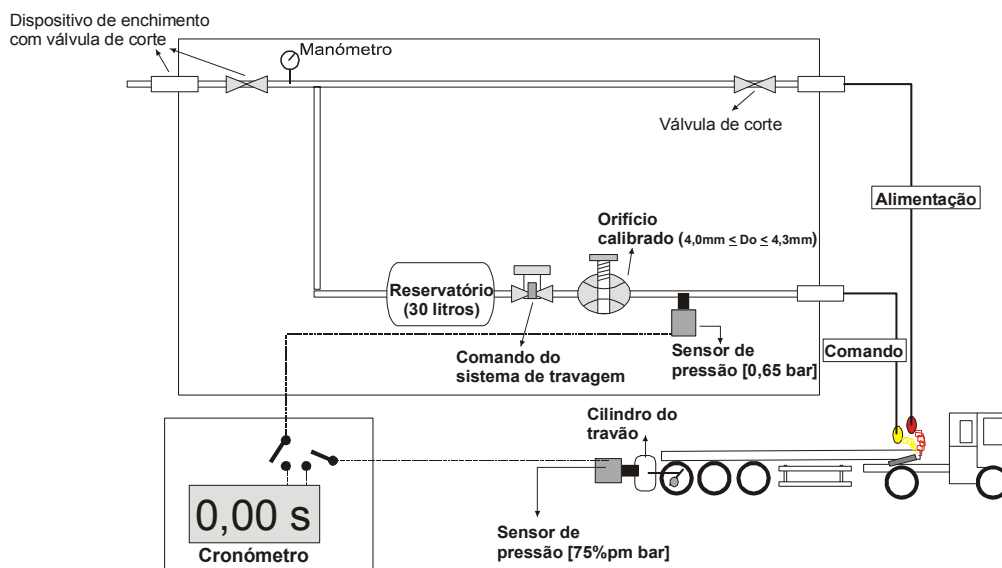


Figura 3 – Esquema do simulador para medição do tempo de resposta de veículos rebocados.

Para a determinação do tempo de resposta do circuito é ainda necessário recorrer a um cronómetro que possibilite a medição do tempo que medeia entre os instantes anteriormente referidos. Com este objectivo e para permitir a aquisição dos sinais lidos pelos sensores piezoresistivos, recorreram os autores a um sistema de aquisição que se baseia num computador pessoal portátil, equipado com uma placa de conversão analógica-digital PCMCIA, que digitaliza os sinais analógicos provenientes dos sensores primários.

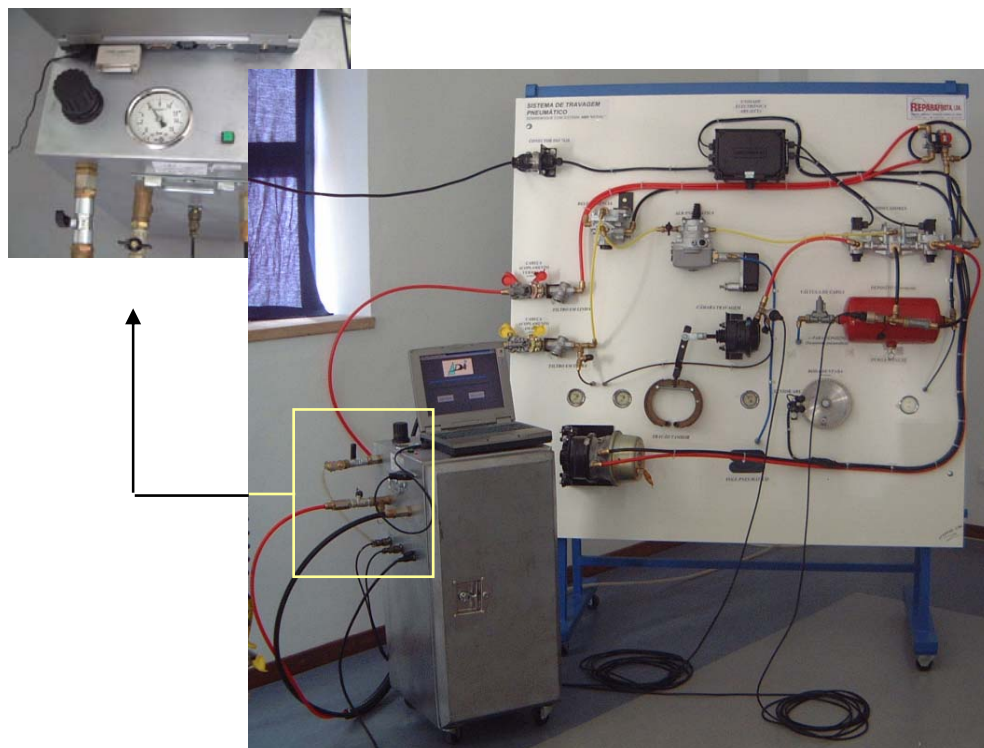


Figura 4 – Sistema de medição do tempo de resposta ligado ao modelo didáctico de sistemas de travagem pneumáticos da ADAI.

Foi desenvolvido um software de aquisição e tratamento de dados, na plataforma de programação Testpoint, para automatizar os ensaios. O software converte os valores em tensão eléctrica dos sinais adquiridos em valores de pressão, através das equações de calibração dos sensores, após o que analisa os ficheiros com as sequências temporais adquiridas para identificar os instantes de tempo em que ocorreram os valores de 10% do valor máximo no sinal de pressão à

entrada do circuito e de 75% do valor assintótico no cilindro mais desfavorável. O tempo de resposta é determinado pela diferença entre os dois instantes.

A utilização deste equipamento está sempre dependente da garantia nos seus resultados. Para tal, a directiva apresenta também os requisitos para a realização da calibração. A realização dessa calibração pressupõe a utilização de um reservatório com a capacidade de $385 \pm 5 \text{ cm}^3$ ou de $1.155 \pm 15 \text{ cm}^3$ ligados à saída do sinal de travagem do equipamento. Alimentando o reservatório interno do equipamento com 6,5 bar, e fechando essa alimentação, tem que se obter, após actuação, um valor para a calibração de $0,20 \pm 0,01$ segundos, quando é utilizado o reservatório de menor volume, ou de $0,38 \pm 0,02$ segundos para o reservatório de maior volume.

O valor da calibração é obtido através da leitura da pressão do sensor interno do equipamento e corresponde ao intervalo de tempo entre o instante correspondente a 10% da pressão de alimentação (6,5 bar) e o instante em que se obtém 75% da pressão final do sistema.

4. SOFTWARE DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

Conforme já foi referido, foi desenvolvido um programa para aquisição e processamento de dados no programa comercial de desenvolvimento de aplicações TestPoint, que permite a medição do tempo de resposta. Além deste objectivo primário, fixou-se como meta a elaboração de ferramentas adicionais que possibilitem por um lado a obtenção de mais informações relativas ao ensaio propriamente dito, bem como a obtenção de mais informações relativas ao sistema de travagem do veículo em análise permitindo a realização de outros ensaios requeridos pela directiva europeia de referência tais como: o ensaio de capacidade dos reservatórios, o ensaio de consumo por actuação do ABS e o ensaio complementar do travão de estacionamento.



Figura 5 - Visualização do painel de resultados do tempo de resposta do modelo didáctico.

Deste modo, a estrutura do programa desenvolvido disponibiliza, na janela de abertura, dois interruptores que permitem seleccionar a abertura da janela para medição do tempo de resposta ou da janela que permite a medição de sinais de pressão e a sua correspondente representação gráfica. Optando pela leitura das pressões, o sistema desenvolvido permite a leitura dos valores de pressão correspondentes a uma câmara de travagem, aos depósitos e ao sinal de comando (linha amarela). Estes resultados podem ainda, se assim for entendido pelo técnico dos ensaios, ser armazenados em ficheiro para posterior análise.

A selecção do botão de tempo de resposta possibilita a medição deste valor através da visualização de uma janela onde são apresentados todos os parâmetros relevantes na realização do ensaio, bem como torna possível a visualização gráfica da evolução temporal dos sinais em tensão provenientes dos sensores primários. Nesta janela existe ainda a possibilidade de optar pela calibração do sistema, originando a abertura de uma outra janela onde se apresentam, para

além do valor da calibração, outros parâmetros relevantes deste processo e a representação gráfica da evolução temporal do valor de pressão obtido através do sensor interno do equipamento.

Na figura 5 pode-se observar a interface gráfica da aplicação computacional durante um ensaio de medição do tempo de resposta, efectuado com um modelo didáctico (ver figura 4) construído para apoiar acções de formação na área de sistemas pneumáticos de travagem.

5. QUALIDADE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Apesar do sistema de medição desenvolvido permitir efectuar as medições pretendidas, há que aferir a fiabilidade dos resultados obtidos. Para tanto, estabeleceram-se diversos procedimentos consistindo o primeiro dos quais na calibração individual dos três sensores utilizados no sistema. A ADAI, certificada para a realização de ensaios na área da acústica e travagem em veículos, de acordo com a norma NP EN ISO/IEC 17025 [5,6], efectua a calibração interna dos manómetros e sensores de pressão, através de um calibrador de pressão da marca DRUCK, com resolução até às milésimas de bar, cuja calibração é feita anualmente, numa entidade externa acreditada para o efeito. Os sensores utilizados apresentam um desvio de zero de 0,5 volt e uma sensibilidade de 400 mvolt/bar. Por forma a minimizar as fontes de incerteza das leituras dos valores de pressão, obtiveram-se as rectas de calibração para os três sensores convertendo-se através destas o sinal em tensão lido nos respectivos valores de pressão.



Fig. 6 – Calibração do sistema de medição desenvolvido.

Para além da calibração dos transdutores eléctricos utilizados verificou-se também a leitura do manómetro analógico, indicativo do valor de pressão no interior do depósito. Feitos estes procedimentos prévios procedeu-se à calibração de todo o sistema, de acordo com a metodologia descrita na directiva, utilizando-se para tal, um reservatório com um volume de $385 \pm 5 \text{ cm}^3$. Tal como anteriormente referido, pela medição do tempo necessário para que a pressão neste reservatório aumente de 0,65 para 4,9 bar (isto é, de 10 % para 75 % da pressão nominal de 6,5 bar), é possível ajustar a abertura do orifício calibrado, de modo a obter os valores correspondentes ao estipulado na directiva ($0,2 \pm 0,01$ segundos) aferindo-se acerca da repetibilidade do processo de calibração e possíveis fontes de incerteza. Convém referir que o utilizador não tem qualquer influência nos resultados, uma vez que a actuação é feita através de uma electroválvula e todo o processo é automático, não havendo por isso, possibilidades de diferentes utilizadores afectarem o processo de medição. A pressão entre os valores referidos anteriormente deve aumentar de um modo aproximadamente linear.

Na figura 6, pode observar-se a ligação do reservatório utilizado, ao sistema de medição.

Realizaram-se diversos ensaios no modelo didáctico de sistemas de travagem pneumáticos da ADAI (ver figura 4) em diferentes condições que permitiram concluir que o sistema de medição desenvolvido apresenta uma elevada reprodutibilidade.

Este sistema foi utilizado num ensaio comparativo com outro sistema análogo calibrado, pertença da empresa Wabco España, na medição do tempo de resposta de um veículo rebocado. Para tal, efectuaram-se três medições, em condições

idênticas, utilizando os dois sistemas, sendo que após a análise dos dados obtidos constatou-se que existia elevada concordância entre ambos.

6. CONCLUSÃO

A medição do tempo de resposta é um ensaio cuja contribuição é extremamente relevante para a análise de um sistema de travagem. De facto, ela é tão significativa quanto o seu efeito, pois, em função da velocidade do veículo, cada décimo de segundo pode corresponder a um espaço percorrido bastante extenso. Para uma percepção mais concreta acerca da importância deste parâmetro, este valor é representativo da diferença entre uma travagem realizada com uma actuação mais ou menos rápida por parte do condutor. O sistema desenvolvido representa uma ferramenta importantíssima na análise de sistemas de travagem de veículos rebocados equipados com sistemas de travagem pneumáticos pelo que, o seu desenvolvimento veio permitir disponibilizar uma ferramenta para incrementar a segurança rodoviária em Portugal, uma vez que se torna possível aferir acerca da capacidade de travagem destes veículos que têm um contributo significativo nos acidentes rodoviários.

Este sistema de medição tem sido amplamente utilizado em diversas situações, tais como: nos vários testes realizados durante a sua calibração, nos testes realizados no modelo didáctico existente nas instalações da ADAI, nos ensaios realizados em vários veículos quer pela ADAI, quer por alguns construtores, no final da linha de montagem.

Os resultados obtidos pelo sistema são muito satisfatórios, quer relativamente à reprodutibilidade demonstrada na calibração, quer nas medições no modelo didáctico ou ainda nos testes em veículos. Também em comparação com os resultados obtidos num mesmo veículo relativamente a outro sistema similar, o sistema desenvolvido demonstrou a sua qualidade.

Apesar das dificuldades que o desenvolvimento de um sistema deste género pode acarretar, tornam-se evidentes as vantagens do seu desenvolvimento. Assim, uma primeira vantagem consiste em estudar o fenómeno físico em causa, permitindo adquirir um conhecimento profundo do objecto da medição e do processo de medição no desenvolvimento de um qualquer sistema de medida. Por outro lado, ao desenvolver um sistema de medida fica-se com uma noção clara de como ele funciona, o que permite resolver rapidamente qualquer problema que possa surgir, facilitando também a análise de anomalias que ocorram durante o processo de medição.

REFERÊNCIAS

- [1] Directiva 2002/78/CE de 1 de Outubro de 2002 que adapta ao progresso técnico a Directiva 71/320/CEE do Conselho relativa à aproximação das legislações dos Estados-Membros respeitantes à travagem de certas categorias de veículos a motor e seus reboques.
- [2] Ian Robertson Sinclair, “Sensors and Transducers”, Butterworth-Heinmann – 3rd edition (June2001) – ISBN: 0750649321
- [3] Rudolf Limpert, “Brake Design and Safety”, Society of Automotive Engineers, Inc. (1992) – ISBN: 1560912618
- [4] Several Authors, “Automotive Brake Systems”, Society of Automotive Engineers, Inc. (August 1995) – ISBN: 1560917083
- [5] NP EN ISO/IEC 17025, 2000 – Requisitos Gerais de Competência para Laboratórios de Ensaio e Calibração
- [6] LAB/G00 ed.2 – Guia Geral para Acreditação de Laboratórios