



Marcos José Ferreira Carvalho

**Avaliação da conformidade de veículos terrestres.
Análise metrológica e modernização de um
sistema para medição de velocidade.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Área de concentração: Qualidade e Inovação, do Centro Técnico e Científico da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

Orientador: Mauro Speranza Neto
Co-orientador: José Geraldo Telles Ribeiro

Rio de Janeiro
Dezembro de 2004



Marcos José Ferreira Carvalho

**Avaliação da conformidade de veículos terrestres.
Análise metrológica e modernização de
um sistema para medição de velocidade.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Metrologia do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora e homologada pela Coordenação Setorial de Pós-Graduação, formalizado pelas respectivas assinaturas.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Mauro Speranza Neto

Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Prof. Dr. José Geraldo Telles Ribeiro

Co-Orientador

SCT –Secretaria de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro

Prof. Dr. Maurício Nogueira Frota

Departamento de Engenharia Mecânica

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Coordenação Setorial de Pós-Graduação:

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do

Centro Técnico Científico (PUC-Rio)

Rio de Janeiro, 20 de dezembro de 2004.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Marcos José Ferreira Carvalho

Graduou-se em Engenharia Mecânica na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 1997. Ingressou no Exército Brasileiro em 1999, onde realizou o Curso de Formação de Oficiais do Instituto Militar de Engenharia, especializando-se em Engenharia Mecânica e de Armamento. Trabalhou no Campo de Provas da Marambaia (CPrM), onde atuou na área de planejamento, execução e análise de resultados de testes em materiais de uso no meio civil e militar, como armamentos, munições, blindagens e veículos.

Ficha catalográfica

Carvalho, Marcos José Ferreira

Avaliação da conformidade de veículos terrestres : análise metrológica e modernização de um sistema para medição de velocidade / Marcos José Ferreira Carvalho ; orientador: Mauro Speranza Neto ; co-orientador: José Geraldo Telles Ribeiro. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação, 2004.

168 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação

Inclui referências bibliográficas

1. Metrologia – Teses. 2. Veículos terrestres. 3. Ensaio veiculares. 4. Avaliação da conformidade. I. Speranza Neto, Mauro. II. Ribeiro, José Geraldo Telles. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Metrologia para a Qualidade e Inovação. IV. Título.

CDD: 389.1

Aos meus pais, familiares e minha esposa
pelo apoio que sempre me deram.

Agradecimentos

Ao meu orientador Mauro Speranza Neto e ao meu co-orientador José Geraldo Telles Ribeiro pelo apoio que me deram durante a realização deste trabalho, sem o qual não seria possível concluí-lo.

Aos meus pais pela educação, carinho e apoio em todas as horas e momentos.

À minha esposa Luciana pelo carinho, compreensão, apoio e paciência.

Aos meus companheiros do Exército Brasileiro, civis e militares que muito ajudaram e me apoiaram neste trabalho, dando uma grande e inestimável contribuição, além de uma prova de amizade inigualável.

Ao Exército Brasileiro por ter me propiciado a chance de realizar este trabalho.

À Direção do Campo de Provas da Marambaia em conjunto com a Chefia da Divisão Técnica pelo apoio fornecido para a realização deste trabalho.

Ao Sr. Paulo Sérgio Pereira, Gerente Regional de Vendas da National Instruments, pelo grande apoio prestado na área de aquisição e processamento de sinais.

À PUC-Rio em especial ao Laboratório de Engenharia Veicular (LEV), na figura do engenheiro Giovanni Calfa, pelo auxílio prestado.

Ao IME pelos auxílios concedidos.

Aos meus colegas da PUC-Rio que sempre me encorajaram e apoiaram.

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Eliane Albernaz e Márcia Ribeiro, pela extrema presteza e altíssima competência.

A todos os professores da PUC-Rio com os quais pude ter contato, pelos novos conhecimentos e motivações mostrados.

Resumo

Cavalho, Marcos José Ferreira. **Avaliação da conformidade de veículos terrestres. Análise metrológica e modernização de um sistema para medição de velocidade.** Rio de Janeiro, 2004. 168p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A análise experimental é muito importante para se conhecer as características de Qualquer produto. Os resultados dos testes podem ser usados em pesquisas ou para serem comparados com valores padrões. No segundo caso é necessário seguir certos procedimentos que estão descritos em normas e comparar os valores das características do produto com os requisitos normalizados. No campo da Tecnologia Industrial Básica esta atividade é comumente denominada de avaliação da conformidade. Mas para se medir essas características é necessário usar instrumentos. A instrumentação é a parte mais importante neste processo porque se são usados instrumentos inadequados, o resultado da medição será incorreto e os erros poderão grandes. Então é necessário que os instrumentos tenham sido corretamente calibrados para terem exatidão adequada, baixa incerteza e garantir a repetibilidade e reprodutibilidade das medições. Metrologia é a ciência que trata da confiabilidade das medições. Nos testes veiculares acontece o mesmo, porém é necessário, também, conhecimento sobre a dinâmica veicular, para se saber como e o que será medido. O Campo de Provas da Marambaia do Exército Brasileiro possui um equipamento empregado em avaliação de veículos que mede velocidade e distância usando um sensor óptico sem contato com o solo e um sistema de aquisição de dados. Esta dissertação de mestrado apresenta uma alternativa para a Unidade Central de Processamento deste equipamento substituindo-a por um computador portátil com uma placa de aquisição e um *software* específico com as ferramentas para processar o sinal do mesmo transdutor óptico. Entretanto isto não é suficiente, é necessário um tratamento metrológico deste sistema de aquisição de dados para garantir a incerteza de medição e evitar os riscos de falso aceito e falso rejeito. No contexto do tratamento metrológico desenvolvido, ambos os sistemas de medição foram avaliados, o sistema originalmente em uso e o sistema alternativo proposto que o substituirá. O conhecimento das incertezas associadas constitui estratégico insumo metrológico para a importante etapa de calibração dos equipamentos utilizados. Para realizar este trabalho foi necessário unir três áreas: dinâmica veicular, instrumentação e metrologia.

Palavras-chave

Metrologia; veículos terrestres; ensaios veiculares; avaliação da conformidade.

Abstract

Cavalho, Marcos José Ferreira. **Ground vehicles conformity assessment. Metrological analysis and modernization of a system to measurement velocity.** Rio de Janeiro, 2004. 168p. MSc. Dissertation – Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Experimental analysis is very important to know the characteristics of any product. The tests results can be used in researches or be compared with default values. In the second case it is necessary follow certain procedures that are described in standards and to compare the value of product's characteristics with the standard's requirements. Within the Basic Industrial Technology Domain, this activity is commonly designated as conformity assessment. But to measure these characteristics is necessary to use instruments. The instrumentation is the most important part in this process because if inadequate instruments are used, the result of the measurement will be incorrect and the errors may be great. Then it is necessary that the instruments had been correctly calibrated and have an adequate good accuracy, low uncertainty and ensure the repeatability and reproducibility of the measurements. Metrology is the science dealing with metrology reliability. In automotive tests happen the same, however it is necessary knowledge about vehicular dynamic too, to know how and what will be measured. The Brazilian Army Marambaia Proving Ground has an equipment used to vehicles evaluation that measure speed and distance using a non-contact optical sensor and a data acquisition system. This masters degree dissertation proposes an alternative for this equipment's Central Processing Unit substituting it for a laptop with a data acquisition board and a specific software with data processing tools to process the same non-contact optical sensor's signals. However this is not enough, it's necessary a metrological approach of the data acquisition system to ensure the uncertainty of measurement and avoid false accept risk and false reject risk. In the context of the developed metrological approach, both the measurement systems were evaluated, the system originally in use and the alternative system proposed that will substitute the first. The knowledge about the associated uncertainties constitute a strategic resource to the important stage of the used equipment's calibration. To carry through this work it was necessary to join three areas: vehicular dynamic, instrumentation and metrology.

Keywords

Metrology; ground vehicles; automotive tests; conformity assessment.

Sumário

1	Introdução	17
2	Transdutores Ópticos para Ensaios Veiculares	23
2.1.	Transdutores fotoelétricos	23
2.2.	Histórico	24
2.3.	Funcionamento	26
2.4.	Tipos de transdutores	27
2.4.1.	Transdutores ópticos para medições longitudinais (um eixo)	28
2.4.2.	Transdutores ópticos para medições longitudinais e transversais (2 eixos)	28
2.4.3.	Transdutores ópticos para medição de altura do veículo	28
2.4.4.	Transdutores ópticos para medição em três eixos	29
2.5.	Sistemas <i>Laser-Doppler</i>	31
2.6.	Transdutores por microondas	31
2.7.	Transdutores por sistema GPS	32
2.8.	Equipamentos atuais que utilizam a tecnologia dos transdutores ópticos	33
3	Equipamentos para Ensaios Veiculares Empregados pelo Campo de Provas da Marambaia	35
3.1.	Transdutores ópticos de medição	36
3.1.1.	Transdutor-L	36
3.1.2	Transdutor-Q	37
3.1.3	Transdutor-H	39
3.2.	Simuladores	42
3.3.	CORREVIT® EEP-2	42
3.3.1.	Características do equipamento	42
3.3.2.	Funcionamento do equipamento	43
3.3.3.	Programação dos ensaios	44
3.4.	CORREVIT® EEP-4	44

4 Metrologia, Instrumentos de Medição e Fundamentos da Avaliação da Conformidade	47
4.1. Metrologia	47
4.1.1. Medição	48
4.1.2. Resultados da medição	49
4.1.3. Exatidão, erro e incerteza da medição	49
4.2. Instrumentos de Medição	51
4.2.1. Exatidão e erro associado a um instrumento de medição	54
4.2.2. Calibração de um instrumento de medição	54
4.3. Avaliação da conformidade e certificação de produtos	56
4.3.1. Avaliação da conformidade no âmbito do Comando do Exército	59
4.4. Acreditação (credenciamento)	60
5 Veículos Terrestres	61
5.1. Características dos veículos terrestres	62
5.2. Dinâmica veicular	63
5.3. Dinâmica longitudinal	66
5.3.1. Força trativa	67
5.3.1.1. Sistema de transmissão	69
5.3.2. Força frenante	72
5.4. Dinâmica transversal	73
5.5. Dinâmica vertical	74
6 Modernização do Equipamento	77
6.1. Equipamentos empregados na modernização	77
6.1.1. Integração do transdutor óptico ao condicionador de sinais	78
6.2. Correlação entre a frequência e a velocidade	79
6.2.1. Sistemática de medição	83
6.3. Correlação entre o número de pulsos e a distância percorrida	88
6.4. Fator de calibração	91
6.5. Implementação do <i>software</i> e ferramentas para a aquisição de dados	93
6.5.1. O Ambiente computacional LabView™	93
6.5.2. Aquisição de dados	93

6.5.3. <i>Softwares</i> de aquisição de dados	96
6.5.4. Validação dos <i>softwares</i>	98
6.5.5. Exatidão de medição da placa de aquisição de dados DAQCard -6036E	99
6.5.6. Influência da temperatura	101
6.5.7. Incerteza da medição de frequência	101
6.6. Calibração do CORREVIT® e do <i>software</i> de aquisição de dados	103
6.6.1. Calibração da leitura de velocidade	104
6.6.2. Calibração da leitura de distância percorrida	107
6.7. Viabilidade econômica da modernização do equipamento	108
6.7.1. Preço associado à aquisição de um equipamento novo	108
6.7.2. Aquisição dos componentes para a modernização do equipa- mento	109
6.7.3. Comparação de preços	110
7 Simulação de Desempenho do Veículo	111
7.1. Avaliação do desempenho	111
7.2. Emprego da simulação computacional	112
7.3. Análise experimental	114
7.3.1. Ensaio de aceleração e velocidade máxima	114
7.3.2. Consumo	115
7.3.3. Ensaio de desaceleração	116
7.4. Emprego de simulação computacional para a determinação de er- ros experimentais	117
7.4.1. Simulação do ensaio de aceleração	117
7.4.2. Simulação do ensaio de frenagem	124
7.4.2.1. Avaliação do desempenho do sistema de freios	126
7.4.2.2. Resistência ao rolamento	126
8 Conclusões e Recomendações	129
Referências Bibliográficas	133

Apêndice I: Análise Experimental	137
Apêndice II: Sistemas de Aquisição e Processamento de Sinais	151
Apêndice III: Transparências Utilizadas na Defesa da Dissertação	161

Lista de figuras

Figura 2.1: Transdutor fotoelétrico para medição de deslocamento	24
Figura 2.2: Emprego da “quinta roda”	25
Figura 2.3: Funcionamento do transdutor óptico	27
Figura 2.4: Transdutor longitudinal montado na lateral de um veículo	28
Figura 2.5: Esquema de montagem de dois transdutores para a medição de altura	29
Figura 2.6: Medição dos ângulos de arfagem e guinada pela diferença de altura em relação dos transdutores	30
Figura 2.7: Montagem de transdutores para a medição dos ângulos de guinada e arfagem	30
Figura 2.8: Transdutor por microondas	32
Figura 2.9: Equipamento com transdutor GPS	33
Figura 2.10: Equipamentos da CORRSYS-DATRON	34
Figura 2.11: Sistemas de aquisição de dados	34
Figura 3.1: Instalação do Transdutor-L em um veículo	36
Figura 3.2: Distância de montagem do transdutor-L e ângulos de montagem em relação aos eixos x , y e z	37
Figura 3.3: Sistema óptico de medição do transdutor	38
Figura 3.4: Montagem de transdutor-Q	39
Figura 3.5: CORREVIT® EEP-2	43
Figura 3.6: Vista frontal e traseira do CORREVIT ® EEP-4	45
Figura 4.1: Explicação visual dos conceitos de exatidão e repetitividade	51
Figura 4.2: Cadeia de medição	53
Figura 4.3: Hierarquia do sistema de rastreabilidade	56
Figura 5.1: Sistema de coordenadas recomendado pela norma SAE J670	63
Figura 5.2: Sistema de coordenadas recomendado pelas normas ISO 4130 e DIN 70000	64
Figura 5.3: Diagrama de corpo livre em relação ao plano xz	65
Figura 5.4: Curvas de torque, potência e consumo específico	68

Figura 5.5: Esquema de um sistema de transmissão	70
Figura 5.6: Sistema de frenagem de um veículo	72
Figura 5.7: Sistema de direção por rosca sem-fim	74
Figura 5.8: Exemplos de modelo de suspensão traseira e dianteira	75
Figura 6.1: Placa de aquisição de dados PCMCIA e condicionador de sinais	78
Figura 6.2: Configuração para a determinação da forma de onda do simulador e da correlação entre freqüência e velocidade	81
Figura 6.3: Configurações empregadas para determinação da forma do sinal emitido pelo transdutor	81
Figura 6.4: Comparação entre o sinal emitido pelo transdutor e o sinal TTL	82
Figura 6.5: Medidor de freqüência HP 5386A	83
Figura 6.6: Freqüência x velocidade	85
Figura 6.7: Freqüência (Hz) x velocidade (m/s)	90
Figura 6.8: Freqüência x velocidade para diferentes Fatores de Calibração	92
Figura 6.9: Configuração para a aquisição de dados com o computador portátil	95
Figura 6.10: Painéis frontais dos <i>softwares</i> desenvolvidos	97
Figura 6.11: Configuração dos equipamentos usados nos ensaios de calibração	106
Figura 7.1: Dinamômetro de chassi ou de rolos	113
Figura 7.2: Torque x rotação do motor	120
Figura 7.3: Força trativa x rotação do motor	120
Figura 7.4: Força trativa x velocidade	121
Figura 7.5: Curva ótima de força trativa x velocidade	121
Figura 7.6: Diagrama de blocos do MATLAB/SIMULINK®	122
Figura 7.7: Resultados da simulação para o ensaio de aceleração	123
Figura 7.8: Resultados da simulação na presença de ruídos de alta freqüência	123
Figura 7.9: Resultados da Simulação na presença de ruídos de baixa freqüência	124

Figura 7.10: Diagrama de blocos do MATLAB/SIMULINK®	127
Figura 7.11: Simulação do ensaio de desaceleração sem a presença de ruídos	128
Figura 7.12: Simulação do ensaio de desaceleração com a presença de ruídos de alta frequência provocando erro de medição	128

Lista de tabelas

Tabela 2.1: Classificação dos transdutores fotovoltaicos	23
Tabela 2.2: Exemplos de equipamentos disponíveis no mercado	34
Tabela 2.3: Sistemas de aquisição de dados	34
Tabela 3.1: Características dos transdutores L e Q	41
Tabela 3.2: Características do transdutor-H	41
Tabela 3.3: Demais transdutores que podem ser ligados à UCP	41
Tabela 3.4: Simuladores	42
Tabela 3.5: Módulos da CPU do CORREVIT® EEP-2	43
Tabela 4.1: Grandezas fundamentais do SI e suas unidades de base	48
Tabela 5.1: Classificação dos veículos terrestres segundo o CTB	61
Tabela 5.2: Conceituação dos veículos terrestres segundo o CTB	62
Tabela 5.3: Dinâmicas veiculares – solicitações e reações	64
Tabela 6.1: Configuração do computador e <i>software</i> empregados	78
Tabela 6.2: Incertezas dos equipamentos empregados	83
Tabela 6.3: Medições de velocidade e frequência do CORREVIT®	84
Tabela 6.4: Velocidade medida, velocidade ajustada e erro de medição	85
Tabela 6.5: Valores das incertezas padrão do medidor de frequência e mostrador de velocidade para um fator de abrangência $k_p = 2,0$	86
Tabela 6.6: Cálculo da incerteza do coeficiente linear a_1	88
Tabela 6.7: Incertezas associadas à medição de velocidade	88
Tabela 6.8: Conversão dos valores de valores de velocidade em km/h e de frequência em kHz para m/s e Hz, respectivamente	89
Tabela 6.9: Valores de velocidades obtidos pelo <i>software</i> de aquisição de dados	98
Tabela 6.10: Tabela com as incertezas associadas à medição de velocidade pelo <i>software</i> Ensaio de Calibração	99
Tabela 6.11: Exatidão absoluta e relativa da placa de aquisição de dados e incerteza do contador	103
Tabela 6.12: Valores de montagem do transdutor óptico	104

Tabela 6.13: Resultados obtidos durante a calibração da medição de velocidade	105
Tabela 6.14: Incertezas da calibração da medição de velocidade	105
Tabela 6.15: Valores de distância, fatores de calibração e incertezas	107
Tabela 6.16: Incertezas da distância percorrida e do fator de calibração	108
Tabela 6.17: Cotação com os valores de um equipamento novo	109
Tabela 6.18: Cotação com os valores dos equipamentos necessários à modernização	109
Tabela 7.1: Dados do veículo de ensaio	119
Tabela 7.2: Expressões para cada trecho da curva de força trativa x velocidade	122
Tabela 7.3: Resultados da simulação do ensaio de aceleração	122
Tabela 7.4: Resultados da simulação do ensaio de desaceleração	127