



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA
INDUSTRIAL
CURSO DE GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

VICTOR ALVAREZ DA CUNHA

**AS NOVAS NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS PARA
TESTE DE IMPACTO FRONTAL VEICULAR PARA
PROTEÇÃO DOS OCUPANTES – DEFINIÇÃO DO MELHOR
TESTE PARA O MERCADO DE VEÍCULOS VENDIDOS NO
BRASIL E A ANÁLISE FINANCEIRA PARA ATUALIZAÇÃO
DO LABORATÓRIO DE TESTES**

Salvador
2011

VICTOR ALVAREZ DA CUNHA

**AS NOVAS NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS PARA
TESTE DE IMPACTO FRONTAL VEICULAR PARA
PROTEÇÃO DOS OCUPANTES – DEFINIÇÃO DO MELHOR
TESTE PARA O MERCADO DE VEÍCULOS VENDIDOS NO
BRASIL E A ANÁLISE FINANCEIRA PARA ATUALIZAÇÃO
DO LABORATÓRIO DE TESTES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Área de Concentração: Engenharia para
Tecnologias de Desenvolvimento de Produto (TDP).

Orientador: Prof. Dr. Xisto Lucas Travassos Jr.

Salvador
2011

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

C972a

Cunha, Victor Alvarez da.

As Novas Normas Técnicas Brasileiras para Teste de Impacto Frontal Veicular para Proteção dos Ocupantes: Definição do Melhor Teste para o Mercado de Veículos Vendidos no Brasil e a Análise Financeira para Atualização do Laboratório de Testes. / Victor Alvarez da Cunha. 2011.

252f.; il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Xisto Lucas Travassos Júnior

Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) - Faculdade de Tecnologia Senai-CIMATEC, Salvador, 2011.

1. Testes automotivos. 2. Teste impacto frontal. 3. Colisão frontal. 4. Resolução CONTRAN 221. 5. NBR 15300-1/2/3. I. Faculdade de Tecnologia Senai-CIMATEC. II. Travassos Júnior, Xisto Lucas. III. Título.

CDD: 629.282

SENAI CIMATEC

Programa de Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Industrial.

A Banca Examinadora, constituída pelos professores abaixo listados, leram e recomendam a aprovação da Dissertação de mestrado, intitulada “Avaliação das novas normas brasileiras para teste de impacto frontal veicular para proteção dos ocupantes e sua correlação com o mercado de veículos vendidos no Brasil.”, apresentada no dia 20 de maio de 2011, como requisito parcial para a obtenção do Título de **Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial**.

Orientador:



Dr. Xisto Lucas Travassos Júnior

Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec

Membro interno:



Prof. Dr. Robson da Silva Magalhães

Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec

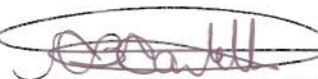
Membro interno:



Prof. Dr. Marcelo Bruno da Silveira Magalhães

Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec

Membro externo:



Prof. Dr. Camilo Bento Carletti

Benteler Componentes

*Dedico este trabalho ao meu pai, Tadeu,
que sempre me incentivou a buscar algo novo,
e que sempre suportou a saudade, por causa
da distância que fica entre nós, durante estas
minhas buscas...*

*Dedico este trabalho também a minha
mãe Jesusa^(†), que mesmo no pouco tempo em
que estivemos juntos, pode ser a melhor mãe
do mundo.*

*A toda minha família, por todos os Natais
e aniversários, que deixei de passar com
vocês....*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Xisto Lucas Travassos Júnior por aceitar este desafio de orientar um trabalho complexo e diferente. Agradeço seu tempo e sua paciência nos momentos difíceis durante o andamento deste trabalho.

Agradeço a todos os meus colegas de trabalho que lidam com o tema segurança veicular, que sempre me ajudaram nos assuntos que levei a eles.

Agradeço meus colegas de classes, trabalho, e minha supervisão, que sempre me incentivaram e entenderam minha ausência, quando foi necessário.

Salvador, 10 de fevereiro de 2011

Victor A. da Cunha.

RESUMO

Em 2007, o Conselho Nacional de Trânsito, CONTRAN, instituiu a Resolução 221, criando critérios biomecânicos de segurança dos passageiros, necessários para homologação do veículo considerando impacto veicular. Esta resolução especifica as normas ABNT NBR 15300-1, em conjunto com a norma ABNT NBR 15300-2, ou ABNT NBR 15300-3. Este critério é de escolha da montadora do veículo para uso do padrão de teste e critérios de aprovação do impacto frontal visando a homologação dos carros a serem vendidos a partir de janeiro de 2012, para os veículos novos, e 2014 para os veículos já em produção. Com estudos já feitos de impacto frontal de veículos, em diferentes países, é possível concluir que o critério de teste de impacto frontal veicular, em barreira rígida, com sobreposição de 100%, conforme ABNT NBR 15300-2, não testa os aspectos mais críticos dos veículos vendidos no Brasil, referentes à deformação e intrusão desta deformação no comportamento dos ocupantes do veículo. Este estudo mostra que a norma ABNT NBR 15300-3, de teste de impacto veicular frontal, em barreira deformável, com sobreposição de 40% e uso de critérios biomecânicos de segurança dos passageiros, semelhante ao mesmo critério da norma ECE R94, usado na Europa, deveria ser a principal forma de homologação veicular para esta verificação no Brasil. Este trabalho faz um estudo de custo e viabilidade financeira da atualização de um laboratório de impacto veicular frontal, no Brasil, para os novos tipos de testes e recursos necessários para conformidade dos testes da nova resolução 221 do CONTRAN.

Palavras-chave: Teste de impacto frontal. Colisão frontal. Resolução CONTRAN 221. NBR 15300-1. NBR 15300-2. NBR 15300-3. ECE R94. 96/79/EC. FVMSS 208.

ABSTRACT

In 2007, the Brazilian National Traffic Counsel (CONTRAN) has defined the 221 Resolution creating the passenger safety biomechanical criteria needed for vehicle homologation considering vehicle impact tests. This resolution specifies the standards ABNT NBR 15300-1 together with the standard ABNT NBR 15300-2 or ABNT NBR 15300-3. In order to get the approval, the vehicle manufacturer must chose an standard for the frontal impact test. For homologation of the cars to be sold from January 2012, as new vehicles, and 2014 for the current production vehicles must comply with this standard. While vehicle frontal impact studies are already made in different countries, it is possible to conclude that the vehicle frontal impact criterion in a rigid barrier with 100% overlap (according to ABNT NBR 15300-2) does not test the most critical aspects of the most sold cars in Brazil referring to deformation and intrusion in the vehicle occupant compartment. This study shows that the frontal impact test stated in the ABNT NBR 15300-3 standard, with 40% offset deformable barrier and the use of occupant safety biomechanical criteria used on the standard ECE R94 (used in Europe) is more appropriate for this verification in Brazil. This work has a financial viability study for a frontal impact laboratory update, in Brazil with the new features of tests and resources needed to comply with the frontal impact tests of the CONTRAN 221 Resolution.

Keywords: Frontal impact test. Frontal collision. CONTRAN Resolution 221. NBR 15300-1. NBR 15300-2. NBR 15300-3. ECE R94. 96/79/EC. FMVSS 208.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1	Número de acidentes nas rodovias federais brasileiras.....	23
Figura 2	Número de mortes no trânsito para diferentes mercados.....	25
Figura 3	Número de Mortes no Trânsito para Cada 100.000 Habitantes.....	26
Figura 4	Manequim de teste de impacto frontal, modelo <i>Hybrid II</i>	34
Figura 5	Primeiro teste de impacto frontal da Mercedes-Benz, em 1959.....	35
Figura 6	Foguete de Impulsão da Mercedes-Benz.....	36
Figura 7	Foguete de Impulsão da Mercedes-Benz, com o veículo Colidido.....	36
Figura 8	Ilustração do Teste de Impacto a 40% de Sobreposição.....	42
Figura 9	Exemplo de medição de aceleração da cabeça, para cálculo do HIC.....	46
Figura 10	Manequins de teste (da esquerda para a direita) representante de 6 anos de idade, 5% população feminina, 12 meses (no colo), 50% população masculina e 3 anos de idade.....	49
Figura 11	Forças Máximas para o Critério de Tensão no PESCOÇO.....	55
Figura 12	Forças Máximas para o Critério de Força Cortante.....	55
Figura 13	Forças Máximas para o Critério de Força no Fêmur.....	56
Figura 14	Processo de Cálculo do Critério de Viscosidade.....	58
Figura 15	Barreira Deformável de Impacto Frontal.....	61
Figura 16	Dimensões da Estrutura de Colméia de Abelha.....	62
Figura 17	Processo de Teste de Impacto Frontal pela Resolução CONTRAN 463.....	66
Figura 18	Processo de Teste de Impacto Frontal Completo pela Resolução CONTRAN 463.....	67
Figura 19	Processo de Teste de Impacto Frontal com 100% de Sobreposição, conforme norma ABNT NBR 15300-1 em conjunto com a norma ABNT 15300-2.....	71
Figura 20	Processo de Teste de Impacto Frontal com 100% de Sobreposição com equipamentos para análises de resultados.....	72
Figura 21	Processo de Teste de Impacto Frontal com 40% de Sobreposição, com equipamentos para análises de resultados.....	74
Figura 22	Máquina do Ponto H.....	76

Figura 23	Máquina do Ponto H Carregada.....	77
Figura 24	Relação de deslocamento para os diferentes métodos de teste de impacto frontal.....	103
Figura 25	Curva força versus deslocamento do Toyota Camry de 1992 a 2002.....	109
Figura 26	Curva força versus deslocamento do Toyota Camry de 2002 a 2007.....	109
Figura 27	Curva força versus deslocamento do Honda Accord de 1994 a 2003.....	110
Figura 28	Curvas de aceleração no compartimento de passageiro do Toyota Camry.....	111
Figura 29	Curvas de aceleração no compartimento de passageiro do Honda Accord.....	112
Figura 30	Valores de HIC levantados, na posição do motorista, do Toyota Camry.....	113
Figura 31	Valores de HIC levantados, na posição do passageiro, do ToyotaCamry.....	113
Figura 32	Valores de HIC levantados, na posição do motorista e passageiro, do Honda Accord.....	114
Figura 33	Valores do carregamento (força) no fêmur esquerdo do motorista, do Toyota Camry.....	117
Figura 34	Valores do carregamento (força) no fêmur direito do motorista, do Toyota Camry.....	117
Figura 35	Relação entre o Kw400 e os valores de intrusão do assoalho para os veículos de passageiros.....	121
Figura 36	Relação entre o Kw400 e os valores de intrusão do assoalho para os utilitários esportivos.....	121
Figura 37	Relação entre o Kw400 e os valores de intrusão do assoalho para os diferentes tipos de camionetes.....	122
Figura 38	Forma de cálculo de deformações, do programa.....	126
Figura 39	Curva força-deformação dos modelos Honda Accord 2000 e Dodge Ram 1999	127
Figura 40	Curva deformação-tempo dos modelos Honda Accord 2000 e Dodge Ram 1999.....	128

Figura 41	Curva força-deformação dos modelos Honda Accord 2000 e Lexus RX330 2004.....	129
Figura 42	Curva deformação-tempo dos modelos Honda Accord 2000 e Lexus RX330 2004.....	129
Figura 43	Curva força-deformação dos modelos Toyota Corolla 2000 e Honda Accord 2000.....	130
Figura 44	Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Corolla 2005 e Honda Accord.....	131
Figura 45	Curva força-deformação dos modelos Toyota Corolla 2005 e Dodge Ram 1999.....	132
Figura 46	Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Corolla 2005 e Dodge Ram 1999.....	132
Figura 47	Curva força-deformação dos modelos Toyota Corolla 2005 e Lexus RX330 2004.....	133
Figura 48	Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Corolla 2005 e Lexus RX330 2004.....	134
Figura 49	Curva força-deformação dos modelos Toyota Corolla 2005 e TrailBlazer 2004.....	135
Figura 50	Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Corolla 2005 e Chevrolet TrailBlazer 2004.....	135
Figura 51	Curva força-deformação dos modelos Toyota Camry 2000 e Dodge Ram 1999.....	136
Figura 52	Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Camry 2000 e Dodge Ram 1999.....	137
Figura 53	Curva força-deformação dos modelos Toyota Camry 2000 e Lexus RX330 2004.....	138
Figura 54	Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Camry 2000 e Lexus RX330 2004.....	138
Figura 55	Curva força-deformação dos modelos Toyota Camry 2000 e Chevrolet TrailBlazer 2004.....	139
Figura 56	Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Camry 2000 e Chevrolet TrailBlazer 2004.....	140
Figura 57	Número de carros compactos mais vendidos, por localidade.....	143

Figura 58	Fotos do momento dos impactos dos primeiros testes de impacto frontal do <i>Latin NCAP</i>	145
Figura 59	Manequim de Teste, modelo Hybrid III 50% Masculino.....	175
Figura 60	Equipamento para Teste de Queda da Cabeça do Manequim de Teste.....	178
Figura 61	Equipamento de Teste do Pendulo.....	179
Figura 62	Equipamento para Realização do Teste de Impacto no Peito do Manequim de Teste.....	180
Figura 63	Equipamento para Realização do Teste de Impacto no Joelho do Manequim de Teste.....	182
Figura 64	Equipamento para Realização do Teste de Flexão da Junção Pélvis-Fêmur.....	183
Figura 65	Equipamento para Realização dos Testes da Parte Inferior da Perna.....	184
Figura 66	Equipamento de Aquisição de Dados.....	186
Figura 67	Câmera Interna.....	186
Figura 68	Estrutura de Fixação da Barreira de Impacto Deformável, da <i>Calspan®</i>	187
Figura 69	Estrutura Deformável da Barreira de Impacto Frontal da <i>Plascore®</i>	188
Figura 70	Máquina do Ponto H.....	189
Figura 71	Sistema de Medição de Coordenadas da <i>Faro®</i>	189

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Testes de Impacto Sem o Uso do Cinto de Segurança.....	43
Tabela 2	Sensores e suas grandezas de medida.....	79
Tabela 3	Tabela das respostas de freqüência.....	80
Tabela 4	Classe do Canal para as diversas medições.....	81
Tabela 5	Diferenças dos Testes de Impacto pelas Leis Americanas e Européias.....	88
Tabela 6	Requisitos de Teste de Impacto Frontal, de Diferentes Mercados e Aplicações.....	97
Tabela 7	Valores de força no fêmur e de índice da tíbia, do Toyota Camry	115
Tabela 8	Valores de força no fêmur e de índice da tíbia, do Honda Accord.....	115
Tabela 9	Valores de intrusão da deformação na região dos pés do motorista, do Toyota Camry.....	116
Tabela 10	Valores de intrusão da deformação na região dos pés do motorista, do Honda Accord.....	116
Tabela 11	Divisões por classes e massa dos tipos de veículos.....	119
Tabela 12	Quantidade de cada tipo de veículos.....	120
Tabela 13	Valores levantados do coeficiente de determinação R^2 e inclinação, dos veículos verificados.....	123
Tabela 14	Veículos e resultados do primeiro teste de impacto frontal do <i>Latin NCAP</i> (<i>Latin NCAP</i> , 2010d).....	144
Tabela 15	Escala de nove pontos da importância e sua descrição.....	148
Tabela 16	Análise comparativa entre os critérios.....	168
Tabela 17	Aplicação do peso e grau de utilização a cada alternativa.....	169
Tabela 18	Valores do Investimento.....	191
Tabela 19	Custo Energia Elétrica.....	192
Tabela 20	Custo Fixo.....	192
Tabela 21	Custo Variável.....	193
Tabela 22	Quantidade, preço e custos, ao longo dos anos.....	193
Tabela 23	Fluxo de Caixa Operacional.....	194

Tabela 24	Variação do Capital de Giro Livre.....	195
Tabela 25	Taxa de Retorno.....	196
Tabela 26	Valor de Desconto, Necessidade de Capital de Giro e Imposto.....	197
Tabela 27	Fluxo de Caixa, Fluxo de Caixa Descontado, VPL e TIR.....	197

LISTA DE EQUAÇÕES

Eq. 1	HIC (Critério de ferimento da cabeça).....	46
Eq. 2	N_{ij} (Critério de ferimento do pescoço).....	47
Eq. 3	HPC (Critério de desempenho da cabeça).....	54
Eq. 4	TI (Índice da tíbia).....	57
Eq. 5	V^*C (Critério de viscosidade).....	58
Eq. 6	$V_{(t)}$ (Velocidade de deflexão do esterno).....	58
Eq. 7	Cálculo para o HPC.....	82
Eq. 8	Rigidez energética.....	119
Eq. 9	Deslocamentos.....	124
Eq. 10	Deslocamentos.....	124
Eq. 11	Velocidades.....	124
Eq. 12	Velocidades.....	124
Eq. 13	Acelerações.....	124
Eq. 14	Acelerações.....	125
Eq. 15	Força (na interface dos dois veículos).....	125
Eq. 16	Deslocamento total tem que se igual à deformação total.....	125
Eq. 17	Energia potencial (k).....	141
Eq. 18	W_i (Peso de cada critério).....	168
Eq. 19	K_{tech} (Fator tecnológico).....	169

LISTAS DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADR	<i>Australian Design Rule</i>
AHP	Processo de Hierarquia Analítica (<i>Analytic Hierarchy Process</i>)
ANCAP	<i>Australasian New Car Assessment Program</i>
ASD	<i>Antislide Barrier</i>
CFC	Classe de Frequencia de Canal (<i>Channel Frequency Class</i>)
CNM	Confederação Nacional dos Municípios
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DETRAN	Departamento Estadual de Transito
DPVAT	Seguro Obrigatório de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Vias Terrestres
ECE	<i>Economic Commission for Europe</i>
EEC	<i>European Economic Community</i>
FENABRAVE	Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores
FFC	<i>Femur Force Criterion</i>
FIA	Federação Internacional de Automobilismo
FMVSS	<i>Federal Motor Vehicle Safety Standards</i>
IHRA	<i>International Harmonized Research Activities</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
JNCAP	<i>Japan New Car Assessment Program</i>
HIC	<i>Head Injury Criterion</i>
HPC	<i>Head Performance</i>
IIHS	<i>Insurance Institute for Highway Safety</i>
ITF	<i>International Transport Forum</i>
MATLAB®	<i>Matrix Laboratory</i>
NHTSA	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>
Nij	<i>Neck Injury</i>
PSI	<i>Pulse Severity Índex</i>
SPOC	<i>Severe Partial Overlap Collision</i>
TCFC	<i>Tibia Compressive Force Criterion</i>

ThCC	<i>Thorax Compression Criterion</i>
TI	<i>Tibia Index</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
UNECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>
V*C	Critério de Viscosidade
VRC	Valor Residual Contábil
VRM	Valor Residual de Mercado
VPL	Valor Presente Líquido
WHO	<i>World Health Organization</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

K_{tech}	Fator tecnológico ou fator de melhoria
N_i	Número de aparições de cada critério
$N_{máx}$	Número máximo de aparições entre todos os critérios
$N_{mín}$	Número mínimo de aparições entre todos os critérios
W_i	Peso calculado de cada critério
$(F_C)_z$	Força de compressão crítica na direção z
$(M_C)_R$	Momento fletor crítico
$\bullet t$	Período de tempo
A	Aceleração
alt_i	Alternativa em estudo
$D_{(2)}$	Deflexão no tempo t
F	Força
F_H	Freqüência do canal
F_x	Força radial
F_z	Força axial
F_{zc}	Força de tensão
M	Massa
M_{ocy}	Momento fletor occipital
M_x	Momento fletor no eixo x
M_y	Momento fletor no eixo y
M_{yc}	Momento extensor
N_{ce}	Compressão-deflexão
N_{cf}	Compressão-flexão
N_{ij}	Neck Injury
N_{te}	Tensão-deflexão
N_{tf}	Tensão-flexão
R^2	Coeficiente de determinação
T	Tempo
V	Velocidade

X_f	Posição final
X_i	Posição inicial
δ_t	Intervalo de tempo entre as medidas da deflexão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 Definição do problema.....	26
1.2 Objetivo	27
1.2.1 Objetivos específicos.....	28
1.3 Importância da pesquisa.....	29
1.4 Motivação.....	29
1.5 Organização da dissertação de mestrado	30
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	32
2.1 Histórico do teste de impacto veicular para simulação de acidente.....	32
2.1.1 Estados Unidos	32
2.1.2 Europa.....	34
2.1.3 Brasil	38
2.2 Regulamentação de testes de impacto veicular.....	38
2.2.1 Estados Unidos	39
2.2.1.1 Testes de verificação de desempenho, de proteção ao ocupante	41
2.2.1.2 Critérios de verificação biomecânicos	45
2.2.2 Europa.....	51
2.2.2.1 O Critério de Desempenho da Cabeça (Head Performance Criterion – HPC).....	53
2.2.2.2 O Critério de Ferimento do PESCOÇO (Neck Injury Criteria – NIC).....	54
2.2.2.3 Critério de Força no Fêmur (<i>Femur Force Criterion – FFC</i>)	55
2.2.2.4 Critério de Compressão da Tíbia (<i>Tibia Compressive Force Criterion – TCFC</i>)	56
2.2.2.5 Índice da Tíbia (<i>Tibia Index – TI</i>)	57
2.2.2.6 O Critério de Compressão do Tórax (<i>Thorax Compression Criterion – ThCC</i>)	57
2.2.2.7 Critério de Viscosidade (<i>Viscous Criterion – V*C</i>), para o <i>Dummy</i> Modelo Híbrido III (<i>Hybrid III</i>)	58
2.2.2.8 Teste de impacto.....	59
2.2.3 Brasil	64
2.2.3.1 Resolução CONTRAN 463.....	64
2.2.3.2 Resolução CONTRAN 221	69

2.2.3.3 Teste de impacto frontal em barreira rígida com sobreposição de 100% – ABNT NBR 15300-2	70
2.2.3.4 Teste de impacto frontal em barreira deformável com sobreposição de 40% – ABNT NBR 15300-3	73
2.2.3.5 Colocação e posicionamento dos manequins de teste.....	75
2.2.3.6 Instrumentação e sistema de coleta de dados	78
2.2.3.7 Demais ajustes do veículo.....	81
2.2.3.8 Ferimentos aos ocupantes, para a Norma ABNT 15300-2.....	82
2.2.3.9 Ferimentos aos ocupantes, para a Norma ABNT 15300-3.....	84
2.2.4 Austrália	85
2.2.5 Japão.....	85
2.2.6 Diferenças entre teste Europa e teste Estados Unidos	86
2.3 Revisão dos Estudos de Impacto e Segurança Veicular.....	89

3 ESTUDO PARA ADEQUAÇÃO DAS NORMAS AO MERCADO BRASILEIRO	91
3.1 Laboratórios de testes de impacto independentes.....	91
3.1.1 NCAP	91
3.1.2 IIHS	92
3.1.3 Euro NCAP	93
3.1.4 ANCAP	94
3.1.5 JNCAP.....	94
3.1.6 <i>Latin</i> NCAP.....	95
3.1.7. Testes de impacto frontal por mercado e por organização.....	96
3.2 Diferença dos testes de impacto entre sobreposição de 100% e sobreposição de 40% com barreira de impacto deformável.....	100
3.2.1 Diferenças dos testes de impacto frontal, em aceleração, deformação e força de impacto.....	100
3.2.2 Análise de resultados em teste de impacto com barreira rígida e 100% de sobreposição e com barreira deformável com sobreposição de 40%	105
3.2.3 Aumento da rigidez, na deformação de veículos submetidos ao teste de impacto frontal com sobreposição de 40%.....	107
3.2.4 Rigidez ao impacto frontal nos diferentes tipos de veículo.....	118
3.2.5 Rigidez frontal à deformação em caso de impacto frontal carro a carro.....	123
3.2.6. Correlação Física das Deformações Veiculares.....	141
3.3 Impacto da diferença de resultados e aplicação dos testes para o Brasil.....	142
3.3.1 Resultados de Teste de Impacto com Veículos do Mercado Brasileiro.....	143

3.3.2 Análise de pares para definição do melhor modelo de testes para o mercado brasileiro.....	146
3.4 Conclusões do Capítulo	170
4 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A ATUALIZAÇÃO DO LABORATÓRIO DE TESTES DE IMPACTO FRONTAL, NO BRASIL, PARA ATENDER AS NOVAS NORMAS ABNT NBR 15300-1/2/3.....	173
4.1 Laboratório de testes.....	174
4.1.1 Manequins de teste	174
4.1.1.1 Custo dos manequins de teste	176
4.1.2 Laboratório de calibração dos manequins de teste	177
4.1.2.1 Teste de queda da cabeça	177
4.1.2.2 Teste do pendulo.....	179
4.1.2.3 Teste de impacto no peito	180
4.1.2.4 Teste de impacto no joelho	181
4.1.2.5 Teste de flexão na junção pélvis-fêmur	183
4.1.2.6 Teste da parte inferior das pernas.....	184
4.1.2.7 Custos do laboratório de calibração	185
4.1.3 Equipamentos para teste.....	185
4.1.3.1 Câmera interna.....	185
4.1.3.2 Sistema de aquisição de dados.....	186
4.1.3.3 Barreira de impacto deformável.....	187
4.1.3.4 Máquina do ponto H	188
4.1.3.5 Sistema de medição de coordenadas	189
4.2. Estudo de viabilidade econômica para atualização do laboratório de testes de impacto frontal, no Brasil.....	190
4.2.1 VPL & TIR.	190
4.2.2 Plano para o laboratório de teste de impacto	190
4.2.3 Estudo financeiro.....	191
4.2.4 Investimentos	191
4.2.5 Custos fixos	192
4.2.6 Custo variável.....	193
4.2.7 Quantidades, preços e custos	193
4.2.8 Fluxo de caixa operacional.....	194
4.2.9 Necessidade e variação do capital de giro.....	195
4.2.10 Valor residual	195

4.2.11 Taxa de retorno	196
4.2.12 Fluxo de caixa descontado, VPL & TIR	197
4.2.13 Cálculo do tempo do retorno financeiro.....	198
4.2.14 Conclusões do estudo financeiro.....	198
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	200
5.1 Conclusão.....	200
5.2 Contribuições.....	204
5.3 Atividades futuras de pesquisa.....	204
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	205
ANEXO A Resposta da frequencia de canal do canal de medição.....	214
ANEXO B Figuras do artigo de Planath-Skogsmo/Nilsson (1994).....	215
ANEXO C Figuras do artigo de Mizuno, Wani e Yonezawa (2003).....	217
ANEXO D Manequim de teste impacto frontal percentil 50 masculino.....	224

1 INTRODUÇÃO

O juiz que presidiu sobre o primeiro acidente de trânsito fatal na Grã-Bretanha disse: “Isso nunca mais pode acontecer”. Por volta de vinte e cinco milhões de pessoas morreram nos acidentes veiculares, no mundo, desde que este juiz disse isso (FAITH, 1997 *apud* BRELL, 2005).

Os acidentes de trânsito são um grave problema em todo o mundo, sendo também a principal causa de mortalidade para os homens entre 15 e 44 anos de idade e também a quinta causa de morte para as mulheres desta mesma faixa etária (IPEA, 2004).

No Brasil, apenas nas rodoviárias federais concedidas, de 2003 até 2007, houve 14.432, 14.846, 14.878, 15.207 e 15.208 acidentes, respectivamente, sendo que 9.954 (69%), 10.058 (68%), 9.797 (66%), 9.862 (65%) e 10.285 (68%) foram acidentes sem vítimas; 4.101 (28%), 4.412 (30%), 4.686 (31%), 4.967 (33%) e 4.968 (33%), foram acidentes com feridos e 377 (3%), 376 (3%), 395 (3%), 378 (2%) e 342 (2%), foram acidentes com vítimas fatais (ANTT, 2008). O gráfico com os acidentes é mostrado na figura 1.

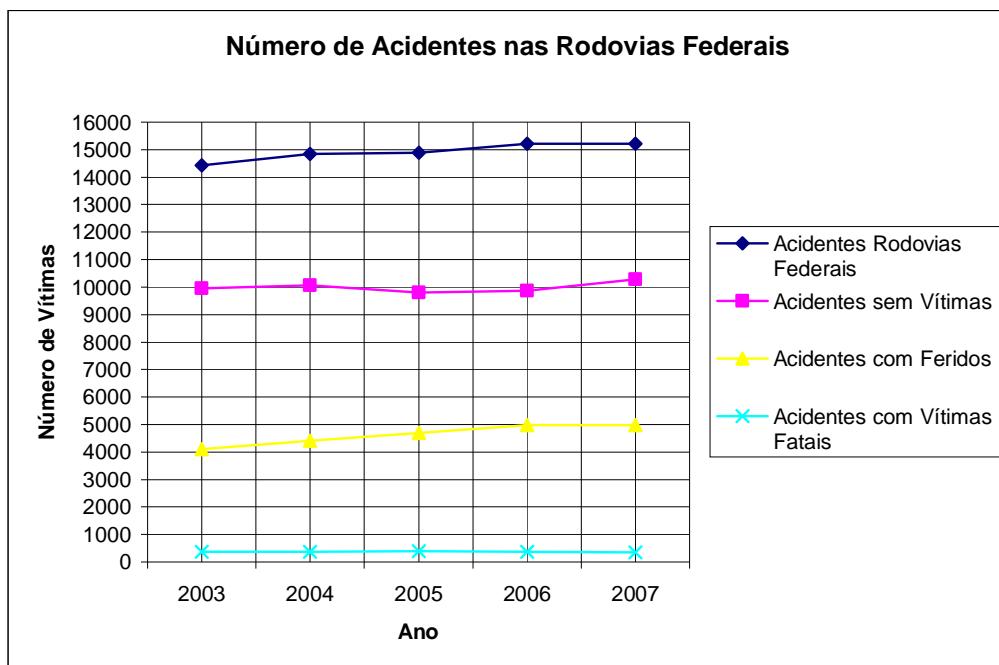


Figura 1 – Número de acidentes nas rodovias federais brasileiras

De acordo com o Mapeamento das Mortes por Acidente de Trânsito no Brasil, levantado pela Confederação Nacional dos Municípios (CNM, 2009), houve no Brasil 57.116 mortes no trânsito o que representa 30,1 mortes no trânsito, para cada 100.000 habitantes do país, por ano, de acordo com os números do DPVAT – Seguro Obrigatório. De acordo com o Mapeamento das Mortes por Acidente de Trânsito no Brasil (CNM, 2009), o DPVAT é a fonte mais segura do número de mortes no Brasil, pois é a que apresenta maior número de comprovações. Com base neste valor, se tem em média 156 mortes por dia no trânsito do Brasil (CNM, 2009). Segundo o Mapeamento das Mortes por Acidente de Trânsito no Brasil (CNM, 2009) 48% do total de acidentes de trânsito que originaram as mortes, foram acidentes em que as vítimas eram ocupantes de carro, camionete ou ônibus, sendo que os demais são de motocicleta, pedestre e ciclista.

Nas estatísticas das Nações Unidas, é verificado que por volta de 1,2 milhões de pessoas morreram nas estradas do mundo em 1998 (BRELL, 2005). Também em 1998, a Organização Mundial da Saúde estimou 1,17 milhões de pessoas mortas em acidente de trânsito no mundo e mais 10 milhões de pessoas feridas nesses acidentes (WHO, 1999 *apud* IPEA, 2004).

Os Estados Unidos possuem um número estimado de pessoas atendidas em domicílio, ou em hospital, de dois milhões de pessoas, sendo que, nos casos mais graves, o tempo médio de hospitalização é de dois milhões de dias (MILLER & MOFFET, 1993 *apud* IPEA, 2004). Também nos Estados Unidos, em 2002, mais de 42.000 pessoas morreram em acidentes de trânsito (EVAN, 2003 *apud* BRELL, 2005), equivalendo a uma morte a cada 12 minutos (BRELL, 2005). De acordo com Mineta e Martin *apud* Brell (2005), os Estados Unidos tem um custo anual de U\$230 bilhões, ou U\$820 por pessoa vivendo nos Estados Unidos. Já em 2009, o número de fatalidades no trânsito foi reduzido para 33.808, gerando um número de 11,1 mortes no trânsito a cada 100.000 habitantes do país (ITF, 2010).

Na Europa, em 1995, estima-se que os acidentes de trânsito provocaram a morte de 45 mil pessoas, além de 350 mil pessoas com ferimentos graves e 1,2 milhões de pessoas com ferimentos leves. Por acreditar em um sub-registro de acidentes graves em cerca de 30% e de acidentes leves em cerca de 60%, o IPEA (2004) acredita na estimativa de 3,5 milhões de pessoas feridas nesses países em 1995. Em 2008, a Comissão Européia publicou que houve 38900 fatalidades em acidentes de trânsito (Comissão Européia, 2010), reduzindo assim o total de mortes

de 1995. Este número de fatalidades gera um gasto sócio econômico de cerca de 2% do PIB da Europa, ou 180 bilhões de Euros, para os 27 países que compõe este grupo (CNM, 2009). Com este valor, a Europa gerou 7,8 mortes no trânsito, para cada 100.000 habitantes (CNM, 2009).

Na Austrália, em 1996, o custo dos acidentes foi estimado de forma conservadora em AU\$15 bilhões, nos valores da moeda de 1996 (FERGUNSON et al., 2000 *apud* BRELL, 2005). Os acidentes em estrada, na Austrália, impõem uma carga financeira substancial à comunidade, que por conta disto, desde 1997, tiveram sua rede de segurança nas estradas aumentadas (PORTER, 2002 *apud* BRELL, 2005). Em 2009, o número de mortes no trânsito diminuiu para 1.507, o que levou o país a 6,9 mortes no trânsito, para cada 100.000 habitantes (ITF, 2010).

Em outros países, como na Argentina, em 2009, houve 7.364 mortes no trânsito, o que leva a 18,3 mortes no trânsito, para cada 100.000 habitantes do país (ITF, 2010). No Japão, em 2009, houve 5.772 mortes no trânsito, o que leva a 8,1 mortes no trânsito, para cada 100.000 habitantes do país (ITF, 2010). Na Coréia do Sul, em 2008, houve 5.870 mortes no trânsito, o que leva a 20,1 mortes no trânsito, para cada 100.000 habitantes do país (ITF, 2010). Na figura 2 é mostrado o número de mortes no trânsito para cada mercado citado. Na figura 3 é mostrado o número de mortes no trânsito para cada 1000.000 habitantes.

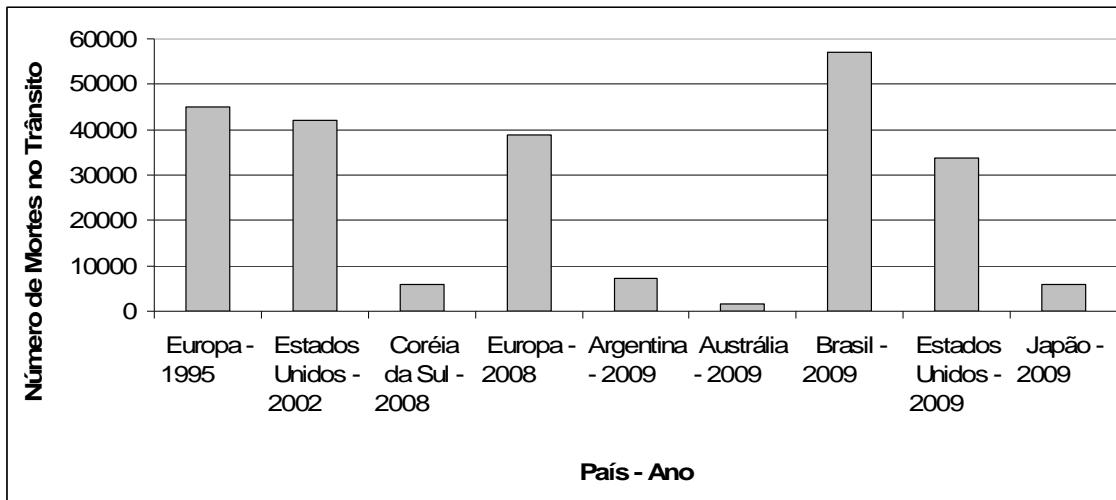


Figura 2 – Número de Mortes no Trânsito para Diferentes Mercados

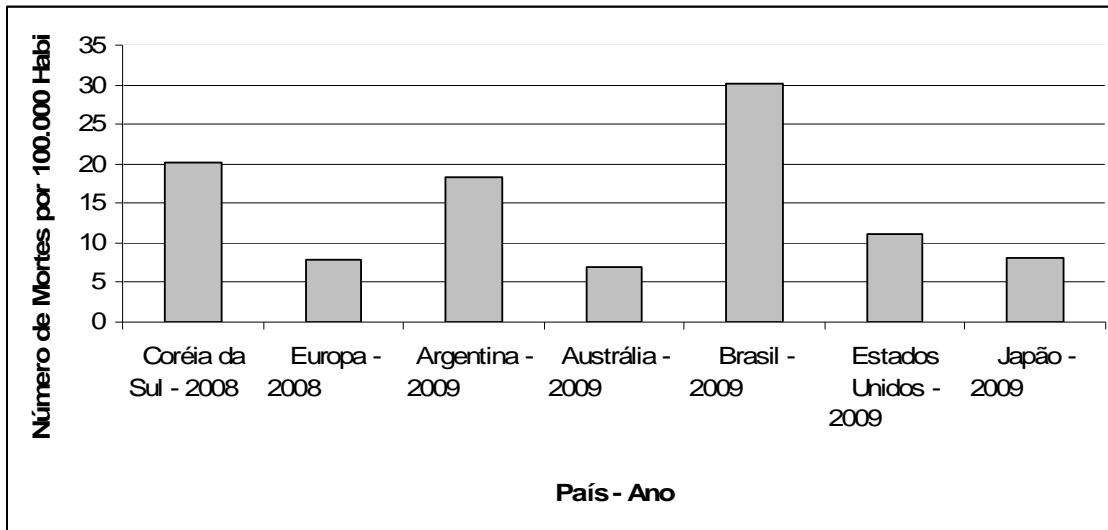


Figura 3 – Número de Mortes no Trânsito para Cada 100.000 Habitantes

Ao se comparar os números de acidentes de trânsito Do Brasil, com os dos Estados Unidos, Europa, Austrália, Japão e Argentina (um mercado de realidades econômicas mais próximas da brasileira), nota-se a falta de segurança no trânsito do Brasil, que também mostram um alto número de mortes, maior do que os dos países mencionados.

Dos acidentes de trânsito, um dos tipos que se destaca é o de colisão frontal. De acordo com o Departamento Estadual de Transito de Alagoas – DETRAN/AL, a colisão frontal é a forma mais grave de acidente e de trânsito, porque para a situação em que dois carros estão na mesma velocidade, em um impacto frontal a velocidade relativa dos dois veículos é somada, aumentando o risco de morte (DETRAN/AL, 2010). Da mesma forma, Lima; Greve e Morita (2008) mostraram em seu estudo, que para a amostra que foi estudada, a colisão frontal foi o acidente mais comum em mortes no trânsito.

1.1 Definição do problema

Em 2007, para aumentar a proteção aos ocupantes de veículos, o Conselho Nacional de Trânsito, o CONTRAN, instituiu um novo critério de teste de segurança veicular referente à proteção ao ocupante em caso de impacto frontal necessário

para a homologação dos veículos. A resolução que definiu estes novos critérios foi a Resolução 221 (CONTRAN 221, 2007).

A Resolução 221 estabelece que para que um veículo esteja de acordo, ele deve passar pelos testes de impacto definidos pela norma ABNT NBR 15300-1 em conjunto com a ABNT NBR 15300-2, ou em conjunto com a norma ABNT NBR 15300-3 (CONTRAN 221, 2007). A norma ABNT NBR 15300-2 é referente a um teste de impacto, à 48 km/h, em uma barreira rígida, com 100% de sobreposição da largura do veículo, enquanto a norma ABNT NBR 15300-3 é referente a um teste de impacto frontal, à 56 km/h, em uma barreira deformável, com sobreposição de 40% (ABNT NBR 15300-2, 2010; ABNT NBR 15300-3, 2010). As duas normas têm os critérios máximos de ferimento ao ocupante, medidos durante os testes, em manequins de teste, colocados no interior do veículo, nas posições do motorista e do passageiro dianteiro, definidos na norma ABNT NBR 15300-1 (ABNT NBR 15300-1, 2010). Verifica-se que a norma ABNT NBR 15300-2 tem a mesma forma de teste utilizado nos Estados Unidos, enquanto a norma ABNT NBR 15300-3 tem os mesmos critérios, e forma de teste, utilizados na Europa (ABNT NBR 15300-2; ABNT NBR 15300-3; FMVSS 208, 2010; ECE R94, 2008).

Com a escolha entre dois modelos de testes diferentes, um veículo poderia ser homologado sem testar seu pior critério de proteção ao ocupante, permitindo sempre a um fabricante a escolha de um modelo de teste que melhor lhe convém, ao invés da escolha do critério que melhor protege os ocupantes do veículo.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é verificar se o critério de escolha do teste de impacto frontal é um critério que permita que qualquer uma das escolhas de teste seja uma forma eficiente de mostrar e comprovar que o veículo protegerá os ocupantes, ou, da mesma forma, que um dos testes pode não ser um bom teste para fazer esta prova. Caso um dos testes se mostre não conveniente, este estudo tem por objetivo mostrar por que um teste é melhor que o outro.

O teste aplicado ao veículo deverá ter a melhor proteção aos ocupantes dentre as possibilidades para cumprir o objetivo da Resolução 221, do CONTRAN e assegurar a segurança dos ocupantes do veículo, no mercado brasileiro.

1.2.1 Objetivos específicos

- Revisão bibliográfica das normas de teste de impacto veicular estadunidense, européia, australiana, japonesa e brasileira;
- levantamento das principais diferenças das normas de teste de impacto frontal para proteção ao ocupante, a saber: estadunidense, européia, australiana, japonesa e brasileira;
- levantamento das criticidades que cada modelo de teste de impacto frontal verifica para proteção do ocupante;
- correlacionar as criticidades de cada modelo de teste de impacto veicular para os veículos vendidos no Brasil e propor, baseado em estudos, o modelo de teste da Resolução 221, do , mais apropriado ao mercado brasileiro, com relação ao tipo de frota de automóveis que o Brasil possui;
- levantamento das etapas necessárias para a realização do teste impacto veicular frontal, para verificação do deslocamento da coluna de direção, para medição de ferimento do ocupante em impacto, em barreira rígida e em barreira deformável;
- levantamento dos recursos necessários para atualização de um laboratório de impacto veicular frontal, para atender as normas ABNT NBR 15300-1, ABNT 15300-2 e ABNT NBR 15300-3;

- estudo de viabilidade financeira para atualização de um laboratório de impacto veicular frontal, para atender as novas normas ABNT NBR 15300-1, de avaliação de critérios biomecânicos, ABNT NBR 15300-2, de teste de impacto frontal veicular em barreira rígida, com sobreposição de 100%, e a norma ABNT NBR 15300-3, de teste de impacto frontal veicular em barreira deformável, com sobreposição de 40%, todas de acordo com a nova resolução do CONTRAN 221, de avaliação de critérios biomecânicos para proteção dos ocupantes dos veículos, em caso de impacto frontal.

1.3 Importância da pesquisa

Este trabalho apresenta um estudo das diferentes condições, critérios, meios e funções principais de cada tipo de teste de impacto frontal e assim analisar a melhor forma de teste a ser feito para homologação veicular no mercado brasileiro.

Estudando os diferentes testes de impacto veicular frontal será possível criticar as novas normas de teste, da Resolução 221, do CONTRAN, e sugerir melhorias que assegurem a escolha do teste que melhor verifiquem a proteção ao ocupante, dos veículos vendidos no Brasil, considerando a hipótese que a maioria dos acidentes com vitimas fatais decorre de impactos frontais.

1.4 Motivação

Com a criação de medições biomecânicas, a serem utilizadas nas avaliações dos critérios de ferimentos dos ocupantes dos veículos em caso de impacto frontal, as resoluções de trânsito brasileiras passaram por uma renovação importante e necessária, em decorrência do alto número de acidentes de transito no Brasil e pela disponibilidade de tecnologia para a realização destes testes nos países desenvolvidos.

Historicamente, o Brasil apresenta um atraso na criação de novas regras de segurança veicular, como por exemplo: o tempo entre a Resolução 463 (teste de impacto frontal para medição do deslocamento da coluna de direção e vazamento de combustível) e a Resolução 221 (avaliação de critérios biomecânicos) foi de 30 anos. Também, comparado a outros mercados, a avaliação de critérios biomecânicos foi criada em 1986, nos Estados Unidos (*Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations*, 2011) e em 1995, na Europa (ECE R94, 2008), enquanto que no Brasil, a definição dos critérios de medição dos critérios biomecânicos só aconteceu em 2010 (ABNT NBR 15300-1, 2010). Por isso, quanto antes forem analisados, discutidos e/ou corrigidos das normas ABNT e resoluções CONTRAN, mais agilmente se poderá contribuir para as alterações evitando que mudanças demorem anos por falta de argumento técnicos.

1.5 Organização da dissertação de mestrado

O capítulo 2 desta dissertação apresenta um histórico do início dos testes de impacto veicular, nos Estados Unidos e na Europa, e como os testes de impacto veicular começaram no Brasil. Em seguida são apresentadas as normas de teste de impacto veicular frontal, para a avaliação de critérios dos parâmetros biomecânicos dos passageiros, nos Estados Unidos, Europa, Brasil, Austrália e Japão, sendo que para as normas do Brasil, ainda é mostrado todo o fluxograma do processo de realização dos modelos de teste de impacto frontal. Por último, este capítulo contém uma análise das principais diferenças das normas de teste de impacto frontal entre o modelo estadunidense e o modelo europeu.

O capítulo 3 mostra as organizações independentes que fazem estudos e divulgação de resultados de impacto veicular, nos Estados Unidos, Europa, Austrália e Japão. Em seguida, são discutidos os estudos que caracterizam os métodos de teste de impacto veicular, em barreira rígida, com sobreposição da largura do veículo em 100%, e em barreira deformável, com sobreposição inferior. No final, é feita a análise para o mercado brasileiro para proposição de um método de teste mais adequado.

O capítulo 4 faz um estudo de viabilidade financeira, para a atualização de um laboratório de impacto veicular frontal originalmente desenvolvido unicamente para o teste conforme a Resolução 463, do CONTRAN, equipando-o para também realizar testes conforme as normas ABNT NBR 15300-1/2/3 (avaliação de critérios biomecânicos dos ocupantes do veículo). Neste estudo de viabilidade financeira, são levantados o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o retorno financeiro.

O capítulo 5 apresenta a conclusão do estudo em relação aos objetivos propostos. Também, neste capítulo, são apresentadas as atividades futuras de pesquisa, que servirão também para que outras pessoas ajudem a ampliar o conhecimento na área de segurança veicular, visando proteção ao ocupante.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta um histórico do início dos testes de impacto veicular, seguido pelas normas de homologação veicular referentes aos critérios biomecânicos, de ferimento dos ocupantes, em alguns países e no Brasil. No final, este capítulo contém uma análise das principais diferenças das normas de teste de impacto frontal entre o modelo estadunidense e o modelo europeu.

2.1 Histórico do teste de impacto veicular para simulação de acidente

2.1.1 Estados Unidos

Em 1930, o índice de fatalidade em acidente de trânsito nos Estados Unidos era de 15,6 pessoas, para cada cem milhões de milhas (cento e sessenta milhões de quilômetros) percorridas, por carros (Humanetics, 2011a). Após a segunda guerra mundial, houve um esforço técnico para criar veículos mais seguros para os ocupantes (Humanetics, 2011a).

O primeiro teste de impacto veicular foi feito pela *General Motors*, em 1936, basicamente para avaliação por observação, do amassamento do veículo (DUBOIS et. al., 2004 *apud* BRELL, 2005). A *Ford Motor Company* teve seu primeiro teste de impacto veicular em 1954 (AUTONEWS, 2003 *apud* BRELL, 2005). A partir daí, milhares de testes de impacto veicular foram feitos pelo mundo, para demonstrar a eficácia das medidas de abrandamento dos ferimentos (BRELL, 2005). Estes testes de impacto eram feitos em colisões entre veículos, ou em barreiras rígidas, e foram utilizados também para verificar zonas de risco à possível ferimento aos ocupantes no interior dos veículos, ancoragem dos cintos de segurança, estrutura dos assentos e abertura das portas, após, e durante, o impacto. Neste mesmo período, foram utilizados os primeiros manequins de teste em veículo, que eram manequins de teste aeronáutico (Humanetics, 2011a). Logo após os primeiros testes de impacto

com manequins de teste aeronáutico, foram criados os primeiros manequins para uso em teste veicular, que foram utilizados até o início da década de 1970. Porém, estes manequins ainda eram baseados nos manequins aeronáuticos (Humanetics, 2011). A partir do início da década de 1970, passou-se a utilizar manequins específicos para teste de impacto veicular (Humanetics, 2011a). Este primeiro manequim de teste foi o *Hybrid I*, criado em 1971 (Humanetics, 2011a).

Em 1966, depois da criação do Departamento de Transporte dos Estados Unidos, e então, da Administração de Segurança de Tráfego nas Rodovias Nacionais (NHTSA – *National Highway Traffic Safety Administration*) (*U.S. Department of Transportation*, 2011), o NHTSA criou os primeiros requisitos obrigatórios de segurança veicular, para homologação dos veículos, baseados nos critérios que estavam sendo usados e estudados pelas montadoras americanas. O primeiro deles foi o Padrão de Segurança Federal de Veículos Automotores 209 (FMVSS - *Federal Motor Vehicle Safety Standards 209*), que impunha os requisitos mínimos para adequação dos cintos de segurança (*Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations*, 2011).

Os primeiros requisitos FMVSS que precisariam de teste de impacto frontal tornaram-se efetivos em 1968. Foram eles:

- 204, que em impacto frontal, em barreira rígida, com sobreposição de 100% da largura do veículo, com velocidade de 30 mi/h (48 km/h), não poderia ter seu sistema de direção avançado em mais de 5 polegadas (127 mm) na direção paralela ao eixo horizontal do veículo, no sentido traseiro (FMVSS 204, 1999 & *Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations*, 2011);

- 206, que no mesmo tipo de teste de impacto, não poderia ter suas portas abertas, deixando seus passageiros escaparem (*Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations*, 2011);

- 208, que também, no mesmo tipo de teste, se utilizava manequins de teste para avaliar o desempenho do cinto de segurança. A partir de 1986, passou-se a verificar os primeiros critérios de ferimento dos ocupantes (*Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations*, 2011).

Os manequins de teste, ou *Dummies*, são usados desde 1952, nos Estados Unidos. Eles ofereceram aos engenheiros uma forma de coletar e medir valores que pudesse representar uma situação de acidente real com seres humanos, melhorando assim a metodologia de pesquisa para evitá-los (Daimler A.G. 2010;

Automobilisport.com, 2009; Humanetics, 2011a). A figura 4 ilustra um manequim de teste.



Figura 4 – Manequim de teste de impacto frontal, modelo *Hybrid II* (Humanetics, 2011b)

2.1.2 Europa

Na Europa, em 1959, a Mercedes-Benz fez seu primeiro teste de impacto que também foi usado para patentear seu conceito de zona de deformação veicular. Neste teste, um veículo foi acelerado até bater em uma barreira fixa, feita a partir de uma ferramenta de estampa antiga, sem utilização (DAIMLER, 2010, Automobilisport.com, 2009), conforme mostrado na figura 5.



Figura 5 – Primeiro teste de impacto frontal da Mercedes-Benz, em 1959 (MotorwayAmerica, 2011).

No entanto, este foi apenas o meio dos estudos em segurança veicular da Mercedes-Benz. Anos antes, a Mercedes-Benz já estudava como diminuir os possíveis ferimentos dos ocupantes e uma das formas levantadas para testar novos conceitos de engenharia e provar que eles eram robustos foi o teste de impacto (DAIMLER, 2010, AutomobilSport.com, 2009).

O desenvolvimento dos testes de impacto continuou na Mercedes-Benz, até que em 1962, os engenheiros da Mercedes-Benz criaram um trilho para manter o veículo na direção correta, até o impacto, e um foguete para impulsionar o veículo. O foguete de impulsão era movido por pressão de vapor de água, que quando atingia 260°C era liberado por uma válvula na traseira do foguete, impulsionando o veículo (MotorwayAmerica, 2011), como mostrado nas figuras 6 e 7.



Figura 6 – Foguete de Impulsão da Mercedes-Benz (MotorwayAmerica, 2011).



Figura 7 – Foguete de Impulsão da Mercedes-Benz, com o veículo colidido (MotorwayAmerica, 2011).

Com a utilização do foguete de impulsão, a Mercedes-Benz conseguiu aprimorar o desenvolvimento dos testes de impacto e de 1962 até 1967, a pedido do Estado de *Baden-Württemberg*, Alemanha, a Mercedes-Benz fez testes em outros tipos de barreira de impacto (*MotorwayAmerica*, 2011).

A partir dos anos 70, com a utilização de manequins de teste vindos dos Estados Unidos, a Mercedes-Benz tinha a intenção de produzir resultados, os mais fieis possíveis à realidade dos acidentes de trânsito, simulando as condições que causam os ferimentos dos ocupantes. Isso fez com que a Mercedes-Benz utilizasse diferentes tipos de barreiras de impacto, sendo que a partir de 1975 ela começou seus estudos sobre a barreira de impacto com sobreposição inferior a 100%, substituindo o uso de barreiras de impacto de concreto e ferro (*MotorwayAmerica*, 2011).

Em 1992, pela primeira vez, a Mercedes-Benz utilizou uma barreira de impacto deformável, com sobreposição, em seus testes, para poder produzir resultados ainda mais representativos dos acidentes reais. Após isso, uma barreira de teste deformável foi criada para homologar os veículos europeus, tendo como influência os testes da Mercedes-Benz (*MotorwayAmerica*, 2011; DAIMLER, 2010; Automobilisport.com, 2009).

Na mesma linha que os Estados Unidos, a Europa definiu seus primeiros requisitos de homologação de segurança veicular, usando teste de impacto frontal, no final da década de 1960 e início da década de 1970, pelas Diretivas do Parlamento Europeu, da Comunidade Econômica Européia (EEC – *European Economic Community*) e pelos Regulamentos da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (ECE / UNECE – *United Nations Economic Commission for Europe*):

- ECE R12, lançado em 1969 e 74/297/EEC, lançado em 1974, que em impacto frontal, em barreira rígida, com sobreposição de 100% da largura do veículo, com velocidade de 48 km/h, não poderia ter seu sistema de direção avançado em mais de 127 mm na direção paralela ao eixo horizontal do veículo, no sentido traseiro (74/297/EEC, 1991 & ECE R12-03, 2010);

- ECE R33, lançado em 1975, que no mesmo tipo de teste de impacto, não poderia ter suas portas abertas, deixando seus passageiros escaparem (ECE R33, 2007).

Os requisitos de verificação de ferimentos dos ocupantes dos veículos, só passaram a vigorar na Europa após 1995 através da ECE R94 (ECE R94, 2008) e pela 96/79/EC (96/79/EC, 2000). Estes requisitos se baseiam em teste de impacto frontal com uma barreira de impacto deformável com sobreposição de 40% do veículo. Este procedimento é diferente do teste utilizado pelos Estados Unidos e foi baseado nos estudos realizados desde o ano de 1975 pela Mercedes-Benz (96/79/EC, 2000; ECE R94, 2008; FMVSS 208, 2010; *MotorwayAmerica*, 2011).

2.1.3 Brasil

No Brasil, com a intenção de aumentar a segurança nos veículos, foi criada em 1973 a resolução 463 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), que, em 1977 passou a incluir o teste de impacto frontal para a verificação do deslocamento da coluna de direção, no rumo do motorista. Este teste seguiu a mesma orientação dos testes feitos na Europa e nos Estados Unidos para o mesmo caso (CONTRAN 463, 2006; 74/297/EEC, 1991; ECE R12, 2010; FMVSS 204, 1999).

Os testes de impacto frontal referentes a critérios de ferimento dos ocupantes, foram criados apenas em 2007, pela resolução do CONTRAN 221 que se baseia no teste do modelo americano da FMVSS 208, e do modelo europeu da ECE R94 (ABNT NBR 15300-1, 2010; ABNT NBR 15300-2, 2010; ABNT NBR 15300-3, 2010; ECE R94, 2008; FMVSS 208, 2010), porém deixando a critério da montadora do veículo, qual dos dois modelos de teste usar (CONTRAN 221, 2007). Esta norma entrará em vigor a partir de 11 de janeiro de 2012, para todos os novos projetos de veículos e em 2014 para os veículos homologados antes desta data (CONTRAN 221, 2007).

2.2 Regulamentação de testes de impacto veicular

Muitos países hoje possuem leis com os critérios mínimos de atendimento a segurança dos ocupantes do veículo. A verificação de conformidade destas leis é

baseada em testes de impacto veicular. No Brasil, a lei que regulamenta o critério mínimo de segurança dos ocupantes dos veículos, para colisão frontal é a Resolução 221 do CONTRAN. Nos Estados Unidos, a lei que regulamenta o critério mínimo de segurança veicular, para os ocupantes, para colisão frontal é a 49 CRF 571.208 (FMVSS 208, 2010). Para a Europa, a lei que regulamenta o critério mínimo de segurança veicular para colisão frontal, para os ocupantes, é a Diretiva 96/79/EC do Parlamento Europeu, que também segue as mesmas diretrizes do Regulamento 94 (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008), da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (UNECE – *United Nations Economic Commission for Europe*). Para o Japão, o modelo usado para certificação é o artigo 18, da Regulação da Segurança para Veículos de Rodagem, (JASIC, 2009). Para a Austrália, as leis que regulamentam o critério mínimo de segurança veicular para colisão frontal são as ADR 69/00 e a ADR 73/00 (ADR 69/00, 2007 & ADR 73/00, 2005).

A seguir, serão discutidas as leis de segurança veicular para proteção dos ocupantes no evento de impacto frontal dos Estados Unidos, Comunidade Européia, Austrália e Japão.

2.2.1 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, a regra de trânsito que regulamenta a integridade do ocupante do veículo em caso de impacto frontal é a 49 CRF 571.208, ou também conhecida como FMVSS 208 (*Federal Motor Vehicle Safety Standard 208 - Padrão Federal de Segurança de Veículos Auto-Motores 208*).

A intenção desta lei é reduzir o número de mortes dos ocupantes dos veículos e a severidade dos ferimentos, especificando a degradação da batida do veículo em termos de forças e acelerações medidas em manequins, ou bonecos de teste, ou ainda *dummies* antropomórficos em teste de impacto veicular e por especificação de requerimentos de sistemas de segurança de ocupantes, ativos e passivos (FMVSS 208, 2010).

A aplicação desse requisito é específica para carro de passageiros, veículos de passageiro multiuso, caminhões e ônibus. Em adição, parágrafo S9 do requisito, vasos de pressão e dispositivos explosivos, aplicados a vasos projetados para

conter um fluido ou gás pressurizado, ou dispositivos explosivos, para uso nos tipos de veículos automotivos acima descritos, como parte de um sistema projetado para suprir proteção para os ocupantes no evento de uma batida (FMVSS 208, 2010), ou no caso, *Air Bags*.

Este requisito é aplicável a todos os veículos de passageiros, que carregados com sua carga máxima tenham 3.855 kg ou menos e aplicável aos veículos que sem a sua carga tenham massa de 2.495 kg ou menos e que atendam estes requisitos:

- todos os veículos de passageiros devem ter cintos de segurança de três pontos, conforme, nas posições mais externas em relação ao centro do veículo e nos bancos dianteiros;

- desde setembro de 1997, todos os veículos de passageiros vendidos nos EUA são obrigados a conter *Air Bag* para motorista e passageiro dianteiro, que não requer ação dos ocupantes;

- desde setembro de 2007, todos os veículos de passageiros devem possuir cinto de segurança de três pontos nos acentos traseiros. Para veículos que possuem encosto traseiro dobrável e que não possuem ponto de fixação com menos 250 mm de altura do ponto mais alto do encosto, podem utilizar um mecanismo de desencaixe que possa recolher os dois pontos sub-abdominais, ou o ponto de fixação superior e o segundo ponto. Para veículos que possuem bancos laterais, traseiros, estes podem possuir cintos de segurança de dois ou três pontos (FMVSS 208, 2010).

Sendo o *Air Bag* obrigatório desde 1997, para o mercado americano, os testes de desempenho de proteção ao ocupante passaram a ser feitos de diferentes formas para comprovação de seu desempenho em atender os requisitos de proteção destes ocupantes. Também, em 1997, de acordo com Hoye (2010), os testes de *Air Bag* passaram a ser feitos por meio de teste de bancada, por meio de ensaio em trenó, ou *sled*, que consiste em um modelo do interior do veículo, acelerado e desacelerado, a ponto de ativar o *Air Bag*. Este teste foi determinado, pois houve aumento do número de mortes com o uso do *Air Bag*, devido à forma com que a velocidade de abertura da bolsa inflável era calibrada, apenas para atender o alto pico de desaceleração de veículo, no teste de impacto em barreira rígida, com sobreposição total do veículo (Hoye, 2010).

Antes da adoção do teste em *sled*, em um impacto a baixa velocidade, a alta velocidade de abertura do *Air Bag*, frente a baixa força de impacto do ocupante na bolsa inflável, provocava uma desaceleração e aceleração na direção oposta, principalmente na cabaça do ocupante, que poderia até matar este ocupante, principalmente se este ocupante possuísse um biotipo mais frágil. A melhora da inclusão do teste em *sled* pode ser observada nas conclusões dos estudos de Hoye (2010) e de Ferguson e Schneider (2008 *apud* Hoye, 2010), que mostraram as estatísticas de morte em acidentes com o *Air Bag* antes e depois da mudança da forma do teste (Hoye, 2010).

O teste de *sled* é composto por um trenó sobre trilhos, em que é fixado em parte da carroceria do veículo (onde estão fixados: o painel de instrumentos, bancos, cintos de segurança, sistema de direção, completo com *Air Bag*), com a utilização dos manequins de teste, é acelerado por foguetes, a uma aceleração alta, na direção da traseira do veículo, simulando a desaceleração do impacto frontal do veículo, a velocidades menores que a velocidade de impacto do teste veicular.

2.2.1.1 Testes de verificação de desempenho e de proteção ao ocupante

Esta seção irá discorrer acerca dos testes físicos, feitos com os veículos, e específicos pela norma FMVSS 208.

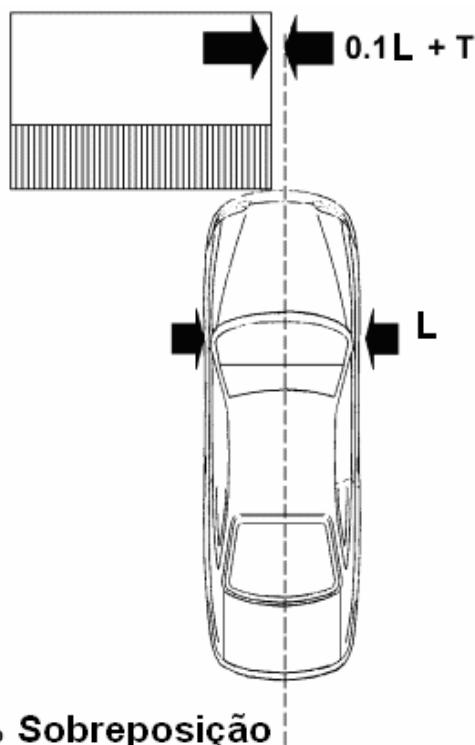
➤ *Teste de impacto com barreira rígida a 90º, com cinto de segurança:*

São dois testes:

- 30mph (48 km/h), com o uso de boneco de testes (*dummies*), que representa 5% das características físicas mais frágeis, da população feminina, nos bancos do motorista e passageiro dianteiro;
- 30mph (48 km/h), com o uso de boneco de testes, que representa 50% das características físicas mais comuns da população masculina, nos bancos do motorista e passageiro dianteiro (FMVSS 208, 2010).

O manequim de teste, ou boneco de teste, modelo *Hybrid III*, percentil 50 masculino, é mostrado no anexo D.

- *Teste de impacto com barreira deformável, a 40% de sobreposição, conforme figura 8, com cinto de segurança:*



40% Sobreposição

Legenda

----Linha Longitudinal do Centro do Veículo

L Largura do Veículo

T Tolerância

Figura 8 – Ilustração do Teste de Impacto a 40% de Sobreposição (FMVSS 208, 2010)

É um teste:

- 25mph (40 km/h), com o uso de manequim de teste (*dummy*), que representa 5% das características físicas mais frágeis, da população feminina, nos bancos do motorista e passageiro dianteiro (FMVSS 208, 2010).

- *Teste de impacto frontal com barreira de rígida, sem o uso de cinto de segurança:*

São quatro testes, onde são utilizados os manequins de teste modelo masculino percentil 50 e o modelo feminino percentil 5. Os testes são mostrados na [tabela 1](#).

[Tabela 1](#) - Testes de Impacto Sem o Uso do Cinto de Segurança (49 CFR 571.208 - S3, 2010).

Velocidade do Impacto	Tipo de Barreira de Impacto	Sobreposição do Impacto	Ângulo do Impacto	Manequim	Cinto de Segurança
40km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 50 Masculino	Sem uso
40km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 5 Feminino	Sem uso
40km/h	Rígida	100%	30° Pela Direita	Percentil 50 Masculino	Sem uso
40km/h	Rígida	100%	30° Pela Esquerda	Percentil 50 Masculino	Sem uso

- *Requerimentos de teste para situação de pessoa fora de posição, no Veículo:*

O *Air Bag* empregado para o manequim de teste representante de 50% da população masculina, modelo *Hybrid III*, sentado na posição central do banco, para velocidades até 25,6 km/h, no teste de impacto frontal é para ser validado como opção de baixo risco para as variantes de 5% da população feminina, seis anos de idade e três anos de idade OOP. Para o teste OOP é conduzido usando o *Air Bag* feito para o teste de impacto a barreira rígida à velocidade de 64 km/h (FMVSS 208, 2010).

- o *Teste A – percentil 5 feminino*

- Opção um de validação:

Demonstrar supressão automática do *Air Bag*, dada os requerimentos de posição específica do manequim de testes, modelo *Hybrid III*, representante dos 5% da população feminina, ou representante humana dos 5% da população feminina.

- Opção dois de validação:

Atender o critério de baixo risco, examinando o critério de ferimento com o manequim de testes, no que se refere aos impactos nos modos fora de posição ‘nariz – aro do volante’ e ‘tronco – módulo do painel’ (FMVSS 208, 2010).

- o *Teste B – testes com os manequins de teste, modelo Hybrid III, de três e seis anos de idade, apenas no assento do passageiro dianteiro.*

- Opção um de validação:

Demonstrar a supressão automática do *Air Bag* do passageiro dianteiro, dado os requerimentos de posição específica do manequim de testes, modelo *Hybrid III*, representante de três e seis anos de idade, ou representante humana de três e seis anos de idade. Demonstrar que o *Air Bag* é re-ativado com os requerimentos de posição específica do manequim de testes, modelo *Hybrid III*, representante dos 5% da população feminina ou representante humana dos 5% da população feminina (FMVSS 208, 2010).

- Opção dois de validação:

Demonstrar baixo risco, atendendo o critério de ferimento com os manequins de testes específicos, para este modo de fora de posição (FMVSS 208, 2010).

- o *Teste C – Manequim de teste representante de pessoa com 12 meses de idade, sentado no assento de crianças com o encosto para trás, no banco do passageiro dianteiro.*

- Opção um de validação

Demonstrar supressão automática do *Air Bag* com manequim de teste representante de 12 meses, sentado no assento infantil especificado no requerimento FMVSS 208, Anexo A, e na posição de assento especificada.

- Opção dois de validação

Demonstrar baixo risco, atendendo os critérios de ferimento com o manequim de, com a posição e assento para criança especificado (FMVSS 208, 2010).

Todos estes testes são aplicados para os veículos produzidos depois de primeiro de setembro de 2006 (FMVSS 208, 2010).

➤ *Prazos e mudanças*

A partir de primeiro de setembro de 2010, para o teste inicial – Teste de Impacto com Barreira Rígida a 90º, com Cinto de Segurança para o teste com o manequim de teste percentil 50 masculino, a velocidade do veículo para o teste de impacto a 90º com cinto de segurança é de 56 km/h (35mph) (FMVSS 208, 2010).

O teste de Impacto com Barreira Rígida a 90º, com Cinto de Segurança, para o teste com manequim de teste de percentil 5 feminino, a velocidade do veículo para o teste de impacto a 90º com cinto de segurança está sendo mudada gradativamente, até atingir obrigatoriedade de aplicação nos 100% dos veículos produzidos a partir de primeiro de setembro de 2012. O progresso do atendimento a lei, é 35% dos veículos produzidos em 2010, 65% dos veículos produzidos em 2011 e 100% em 2012 (FMVSS 208, 2010).

2.2.1.2 Critérios de verificação biomecânicos

Esta seção irá mostrar os critérios biomecânicos a serem avaliados pela norma FMVSS 208, no evento do teste de impacto frontal veicular.

➤ *Head Injury Criterion (Critério de Ferimento da Cabeça) - HIC*

Durante o evento do teste de impacto, para qualquer dois pontos no tempo, t_1 e t_2 , separados por não mais que um intervalo definido, de acordo com cada critério de ferimento, e onde t_1 é menor que t_2 , o HIC é determinado usando a aceleração da cabeça resultante, no centro de gravidade da cabeça do *dummy* (manequim de teste), expressadas como múltiplo de g (a aceleração da gravidade) e é calculada usando a eq. 1:

$$HIC = (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right]^{2.5} \quad (\text{Eq. 1})$$

Na eq. 1 a é a aceleração resultante no centro de gravidade da cabeça do manequim de teste. Na figura 9, temos um exemplo de valores, sendo a área considerada, a determinante para o cálculo do HIC (FMVSS 208, 2010).

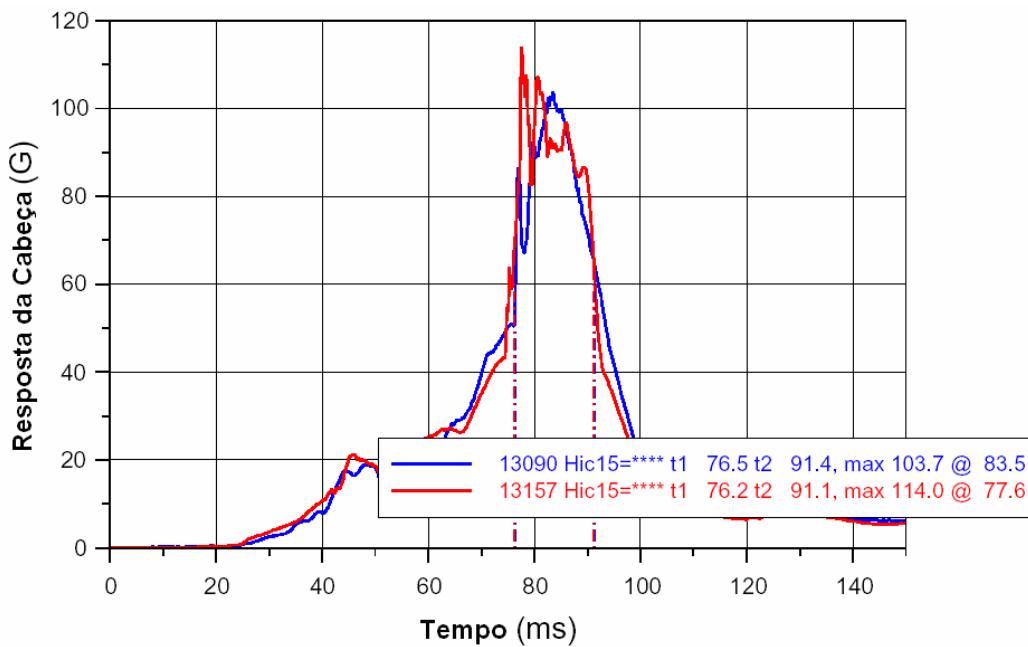


Figura 9 – Exemplo de medição de aceleração da cabeça, para cálculo do HIC.

➤ *Neck Injury (Ferimento do PESCOÇO) – N_{ij}*

Para o critério de ferimento no pescoço, a força radial (F_x), a força axial (F_z) e o momento fletor (M_{ocy}) devem ser medidos no pescoço do manequim de teste durante o evento do teste de impacto (FMVSS 208, 2010).

Durante o evento do teste de impacto, a força axial (F_z) pode ser uma compressão ou uma tensão. Também, o momento fletor occipital ($M_{ocy} - occipital condyle bending moment$) pode ser uma flexão ou uma deflexão, gerando assim quatro possíveis formas de resultados: tensão-deflexão ($N_{te} - tension-extension$), tensão-flexão ($N_{tf} - tension-flexion$), compressão-deflexão ($N_{ce} - compression-extension$) e compressão-flexão ($N_{cf} - compression-flexion$) (FMVSS 208, 2010).

Para cada teste com *dummy* existem valores máximos aceitos para F_z , na compressão e tensão, e para M_{yc} , na flexão e deflexão (FMVSS 208, 2010).

O N_{ij} em si é uma soma das razões entre as forças axiais aceitas e encontradas, e dos momentos aceitos e encontrados, conforme a eq. 2:

$$N_{ij} = \left(\frac{F_z}{F_{zc}} \right) + \left(\frac{M_{ocy}}{M_{yc}} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

sendo que F_z e M_{ocy} se referem aos valores encontrados em teste e F_{zc} e M_{yc} se referem aos valores máximos aceitos (FMVSS 208, 2010).

➤ *Critério de ferimento dos ocupantes*

- Manequim de teste representante de 12 meses de idade:

- HIC não pode exceder 390, em um intervalo de 15ms.
- A aceleração do peito do *dummy* não pode ultrapassar 50g (aceleração a gravidade), em qualquer intervalo de 3ms.
- A tensão no pescoço (F_z tensão) não pode exceder 780N.
- A compressão no pescoço (F_z compressão) não pode exceder 960N.
- N_{ij} não pode exceder 1.0.

- Manequim de Teste modelo *Hybrid III* representante de 3 anos de idade
 - HIC não pode exceder 570, em um intervalo de 15ms.
 - A aceleração do peito do *dummy* não pode ultrapassar 55g (aceleração a gravidade), em qualquer intervalo de 3ms.
 - A deflexão no peito não pode exceder 34 mm.
 - A tensão no pescoço (F_z tensão) não pode exceder 1130N.
 - A compressão no pescoço (F_z compressão) não pode exceder 1380N.
 - N_{ij} não pode exceder 1.0 (FMVSS 208, 2010).
- Manequim de teste *Hybrid III* representante de 6 anos de idade
 - HIC não pode exceder 700, em um intervalo de 15ms.
 - A aceleração do peito do *dummy* não pode ultrapassar 60g (aceleração a gravidade), em qualquer intervalo de 3ms.
 - A deflexão no peito não pode exceder 40 mm.
 - A tensão no pescoço (F_z tensão) não pode exceder 1490N.
 - A compressão no pescoço (F_z compressão) não pode exceder 1820N.
 - N_{ij} não pode exceder 1.0 (FMVSS 208, 2010).
- Manequim de teste *Hybrid III* representante do percentil 5 feminino
 - HIC não pode exceder 700, em um intervalo de 15ms.
 - A aceleração do peito do manequim de teste não pode ultrapassar 60g (aceleração a gravidade), em qualquer intervalo de 3ms.
 - A deflexão no peito não pode exceder 52 mm.
 - A compressão no fêmur não pode exceder 6805N.
 - N_{ij} não pode exceder 1.0.
 - A compressão no pescoço (F_z compressão) não pode exceder 2520N.
 - A tensão no pescoço (F_z tensão) não pode exceder 2070N, no teste para pessoa fora de posição.
 - A tensão no pescoço (F_z tensão) não pode exceder 2620N, no teste de barreira frontal (FMVSS 208, 2010).
- Manequim de teste *Hybrid III* representante do percentil 50 masculino
 - HIC não pode exceder 700, em um intervalo de 15ms.

- A aceleração do peito do manequim de teste não pode ultrapassar 60g (aceleração a gravidade), em qualquer intervalo de 3ms.
- A deflexão no peito não pode exceder 63 mm.
- A compressão no fêmur não pode exceder 10kN.
- N_{ij} não pode exceder 1.0.
- A tensão no pescoço (F_z tensão) não pode exceder 4170N.
- A compressão no pescoço (F_z compressão) não pode exceder 4000N (FMVSS 208, 2010).

A figura 10 representa os diferentes tipos de manequins de teste usados nestes critérios de testes.



Figura 10 – Manequins de teste (da esquerda para a direita) representante de 6 anos de idade, 5% população feminina, 12 meses (no colo), 50% população masculina e 3 anos de idade (HUMANETICS, 2011a)

Para todos os testes de aplicação do *Air Bag* (barreira e fora de posição), o tempo de duração das medições dos critérios de ferimento do *dummy* é de 300ms (FMVSS 208, 2010).

➤ Aviso de segurança

- Os veículos equipados com *Air Bags* deverão conter adesivos de alerta e de manutenção, nos tapas-sol, além de informações no manual do proprietário do veículo. Também, nos adesivos e no manual do proprietário devem conter os escritos que o banco traseiro é o lugar mais seguro para as crianças;

- nos manuais do proprietário devem conter também, explicações de entendimento fácil, sobre os aspectos importantes do *Air Bag* e como ele diminui as chances de ferimento e conjunto com os outros dispositivos de segurança, como os cintos de segurança, assim como alertar que devem sempre ser usados os cintos de segurança. Também nos manuais do proprietário, devem conter a forma correta de se sentar no veículo, assim como o posicionamento de crianças e adultos;

- para os carros dotados de sistemas de *Air Bag* avançados devem conter no manual do proprietário uma explicação do funcionamento do equipamento e as vantagens para o *Air Bag* do passageiro, assim como os componentes que fazem parte deste conjunto e as ações que podem afetar o correto funcionamento do sistema. A descrição no manual do proprietário também deve incluir os fatos importantes sobre a interação do sistema de *Air Bag* avançado com os outros equipamentos de segurança, como o cinto de segurança e o acento. Como informação técnica o manual do proprietário deve conter informações sobre áreas de supressão, que o *Air Bag* pode conter ao inflar-se e cuidados e contatos que o motorista deve fazer para dúvidas de necessidades necessárias para pessoas com necessidades especiais (FMVSS 208, 2010).

➤ Dispositivos de indicação de desativação do *Air Bag* do passageiro

- O dispositivo de indicação de desativação do *Air Bag* do passageiro deve ser amarelo e visível ao motorista e passageiro dianteiro;
- o dispositivo de indicação deve ser localizado dentro do veículo em um local acima e à frente do ponto H do acento do motorista, quando o acento do motorista está na sua posição mais a frente;

- a indicação não pode se localizar dentro ou adjacente de um compartimento, se o uso deste compartimento pode bloquear a indicação para a visão do motorista ou passageiro;
- a indicação pode ser desligada quando o acento do passageiro dianteiro estiver vazio;
- no evento da indicação estar desligada por causa do assento vazio do passageiro dianteiro, o veículo precisa estar equipado com mecanismo que indicaria, sob qualquer circunstâncias se o *Air Bag* do passageiro foi suprimido;
- vários níveis de luminosidade são permitidos (FMVSS 208, 2010).

➤ *Desativação manual do Air Bag do passageiro dianteiro*

Carros sem o acento traseiro ou outra área para acomodar crianças com os dispositivos de segurança (cinto) podem ter uma chave manual para desativar o *Air Bag* do passageiro e evitar assim o ferimento com o posicionamento de costas dos assentos infantis, que se posicionam de costas (FMVSS 208, 2010).

Este sistema deve ser desativado com a chave de ignição do veículo e também deve ter indicação luminosa. O manual do proprietário do veículo deve conter as informações e instruções deste sistema. As etiquetas de aviso de segurança posicionadas no para sol do motorista também devem conter o aviso do sistema (FMVSS 208, 2010).

Todos os veículos equipados com a chave de desativação do *Air Bag* do passageiro também devem ser fornecidos com fivelas de ancoragem de retenção, de acordo com o requerimento FMVSS 225 (FMVSS 208, 2010).

Esta chave de desativação do *Air Bag* do passageiro será permitida somente até 1º de setembro de 2012 (FMVSS 208, 2010).

2.2.2 Europa

Para os veículos comercializados no mercado da comunidade européia, o critério de aprovação para certificação de conformidade com as necessidades de segurança aos ocupantes dos veículos, com peso total, mais carga permissível,

inferior a 2,5 toneladas, ou M1 é dada pela Diretiva 96/79/EC do Parlamento Europeu do Conselho de 16 de dezembro de 1996, para a proteção dos ocupantes de veículos motorizados no evento de um impacto frontal, fazendo emenda a Diretiva 70/156/EC e com correção em 25 de março de 1997 e com uma emenda em 15 de dezembro de 1999 (96/79/EC, 2000).

Além da Diretiva 96/79/EC, a Comunidade Européia aceita o Regulamento ECE R94, das Nações Unidas, para a validação do teste de impacto frontal. Ambos os regulamentos, a Diretiva 96/79/EC e o Regulamento ECE R94 são similares, apenas com algumas diferenças nas etiquetas e avisos dos *Air Bags* (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

O teste de impacto veicular é feito com o veículo a 56 km/h, ou mais, impactando em uma barreira deformável, que se estende por $40\% \pm 20$ mm da largura do veículo, contando-se a partir da lateral do veículo, compreendida pelo lado do motorista do veículo (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

Para aprovação desta diretriz, alguns critérios de aprovação têm que ser atingidos:

- Deslocamento do Volante

Durante o teste, o volante do veículo não pode se deslocar mais que 80 mm na direção vertical superior e 100 mm na direção horizontal traseira (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).

- Abertura das Portas

Durante o teste, as portas não podem se abrir (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).

- Sistema de Travamento das Portas

Durante o teste, não pode ocorrer o travamento das portas dianteiras do veículo (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).

- Combustível

Se o veículo for movido a combustível líquido, apenas um pequeno gotejamento é aceitável durante e depois do teste. Caso haja vazamento contínuo depois do teste, este não poderá ser superior 5×10^{-4} kg/s. Porém, se durante o

vazamento, o combustível se mistura com outros líquidos e este não possam ser identificados, ou separados, a mistura total tem de ser levado em consideração como vazamento contínuo (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

- Ocupantes

Após o teste e sem o uso de ferramentas, exceto aquelas necessárias para suportar a massa do manequim de teste é necessário:

- Abrir pelo menos uma porta por fileira de bancos, se existirem estas portas. Caso não existam portas para alguma fileira de bancos tem de ser possível o recuo, ou dobra, do encosto do banco à frente, necessárias para a evacuação dos ocupantes do veículo. Porém isto é apenas necessário para os veículos com teto rígido;

- liberar os manequins de teste dos sistemas de segurança, como cintos de segurança e *Air Bags* que, quando travados, tem de ser capazes de serem liberados com uma força inferior a 60N no centro do controle de soltura;

- remover os manequins de teste sem a necessidade de ajuste dos bancos (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

2.2.2.1 O critério de desempenho da cabeça (Head Performance Criterion – HPC)

No evento do teste de impacto frontal se o *dummy* não encostar em nenhuma peça do veículo, este critério estará aprovado. Se no evento do teste de impacto frontal a cabeça do *dummy* encostar em algo, este deverá seguir com o critério de aprovação pelo HPC, que não pode exceder 1000 e a aceleração resultante da cabeça não pode exceder 80g (para $g = 1 \times$ a aceleração da gravidade) por mais de 3 ms. Este valor é calculado acumulando-se a aceleração e excluindo os movimentos de rebote da cabeça. Abaixo, é mostrada a eq. 3 de cálculo para o HPC, que é a mesma eq.1, de cálculo do HIC (FMVSS 208, 2010; 96/79/EC, 2000; ECE R94, 2008).

$$HPC = (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right]^{2.5} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que a está relacionada à aceleração resultante medida no centro de gravidade da cabeça, via canal de classe de freqüência (*Channel Frequency Class – CFC*) de 1000, nos três eixos, medidas em acelerações da gravidade g (1 g = 9,80m/s²) (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

Sendo o início de contato da cabeça do manequim de teste com a parte do veículo satisfatório, t_1 e t_2 são dois instantes, em segundos, definindo o intervalo entre o começo e o final da gravação dos valores, onde o valor do HPC é máximo. Se este início de contato da cabeça não pode ser determinado, t_1 e t_2 são dois instantes definindo um intervalo de tempo, fixado entre o início de gravação, no qual o valor e HPC são máximos. Os valores de HPC, em que os intervalos de tempo de t_1 a t_2 são maiores que 36ms, são ignorados para o cálculo de valor máximo (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

2.2.2.2 O Critério de Ferimento do Pescoço (*Neck Injury Criteria – NIC*)

O NIC não pode exceder os valores mostrados nas figuras 11 e 12. Ele é definido pela força de compressão e tensão axial, e também, pela força cortante frontal e traseira na interface da cabeça com o pescoço, expresso em kN e medidos com um CFC de 1000, para as forças axiais e cortantes, e um CFC de 600 para os momentos entre a cabeça e o pescoço, sendo este momento medido a partir de um eixo lateral na interface cabeça / pescoço, expressos em Nm. O momento fletor do pescoço, expresso em Nm, também precisa ser gravado, sendo também que este não pode exceder 57 Nm, em distensão, no eixo y (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

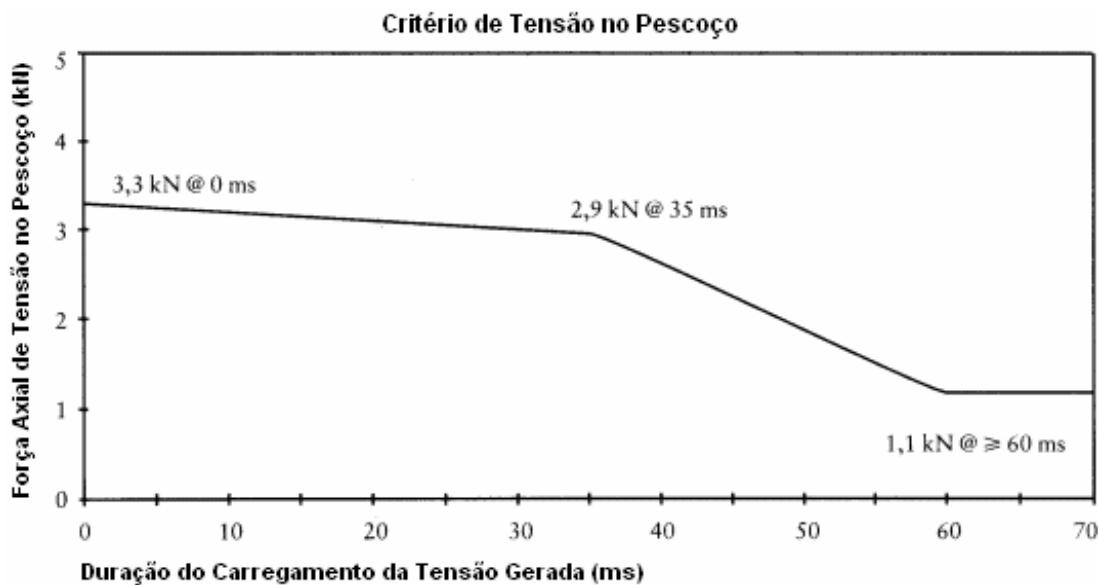


Figura 11 – Forças Máximas para o Critério de Tensão no Pescoco (ECE R94, 2008)

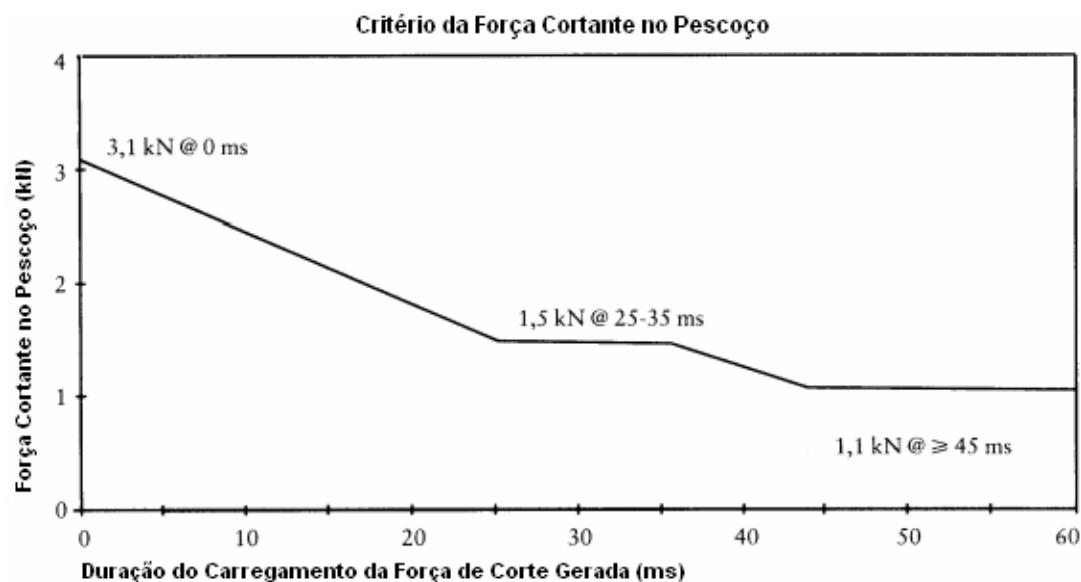


Figura 12 – Forças Máximas para o Critério de Força Cortante (ECE R94, 2008)

2.2.2.3 Critério de Força no Fêmur (Femur Force Criterion – FFC)

O FFC é o critério determinado pela carga de compressão, expressas em kN, transmitidas axialmente para cada fêmur do manequim de teste e pelo momento

fletor, medidas por um CFC de 600, pelo deslocamento da articulação do joelho entre o fêmur e a tíbia, medidas por um CFC de 180 e pela duração da carga de compressão, expressas em ms. Este valor não pode ser superior ao critério de força-tempo mostrado na figura 13 (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

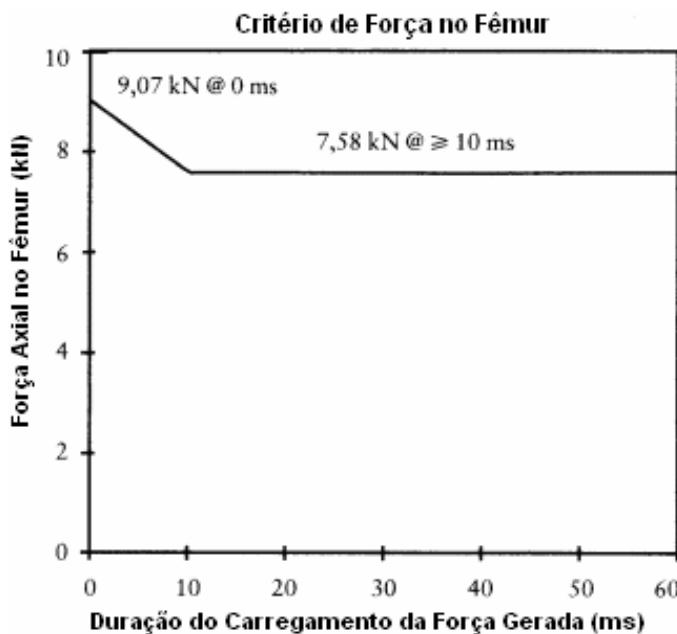


Figura 13 – Forças Máximas para o Critério de Força no Fêmur (ECE R94, 2008)

2.2.2.4 Critério de Compressão da Tíbia (Tibia Compressive Force Criterion – TCFC)

O TCFC é determinado pela carga compressiva F_z , expressas em kN, transmitidas axialmente para cada tíbia do manequim de teste e pelo momento fletor, medidas por um CFC de 600 e pelo deslocamento da articulação do joelho, entre o fêmur e a tíbia, medidas por um CFC de 180. Este valor não pode ser superior a 8 kN. Também, o movimento relativo, no joelho, entre fêmur e tíbia não pode ser superior a 15 mm (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

2.2.2.5 Índice da Tibia (Tibia Index – TI)

O TI é calculado tomando como base o momento fletor, M_x - para o momento no eixo x, e M_y - para o momento no eixo y, medidos no mesmo processo do TCFC, e determinados pela eq. 4:

$$TI = \left| \frac{M_R}{(M_C)_R} \right| + \left| \frac{F_z}{(F_C)_z} \right| \quad (\text{Eq. 4})$$

sendo:

- M_x é o momento fletor no eixo x;
 - M_y é o momento fletor no eixo y;
 - $(M_C)_R$ é o momento fletor crítico, que deve ser considerado como 225 Nm;
 - F_z é a força axial compressiva, na direção z;
 - $(F_C)_z$ é a força de compressão crítica na direção z, que deve ser considerada como 35,9 kN;
- $M_R = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2}$ (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

O TI é calculado para a base e para o topo de cada tíbia, embora o F_z possa ser medido na base ou no topo. Os momentos M_x e M_y são medidos separados na base e no topo. Estes valores de TI não podem ser maiores que 1,3, em cada ponto de medida (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).

2.2.2.6 O Critério de Compressão do Tórax (Thorax Compression Criterion – ThCC)

O ThCC é determinado pelo valor absoluto da deformação do tórax, expresso em mm, e medidos na deflexão do peito, entre o esterno e a coluna, por um CFC de 180. Este valor não pode ser superior a 50 mm (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

2.2.2.7 Critério de Viscosidade (Viscous Criterion – V*C), para o Dummy Modelo Híbrido III (Hybrid III)

O V*C é calculado pelo produto, instantâneo, da compressão e da taxa de deflexão do esterno, medidos por um CFC de 180. Para conformidade, este valor não pode ser superior a 1,0m/s (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

Para o cálculo do V*C, a resposta da deflexão do esterno é filtrada pelo CFC 180 e o tempo de compressão t é calculado pela eq. 5:

$$C_{(t)} = \frac{D_{(t)}}{0,299} \quad (\text{Eq. 5})$$

A velocidade de deflexão do esterno no tempo t é calculada pela deflexão, filtrada, pela eq. 6:

$$V_{(t)} = \frac{8 \times (D_{(t+1)} - D_{(t-1)}) - (D_{(t+2)} - D_{(t-2)})}{12_{\delta t}} \quad (\text{Eq. 6})$$

sendo:

- D₍₂₎ a deflexão no tempo t, expresso em m;
- δ_t o intervalo de tempo entre as medidas da deflexão, expressos em s.

O valor máximo para δ_t é 1,25 × 10⁻⁴s (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008). O processo de cálculo do V*C é ilustrado no fluxograma da figura 14.

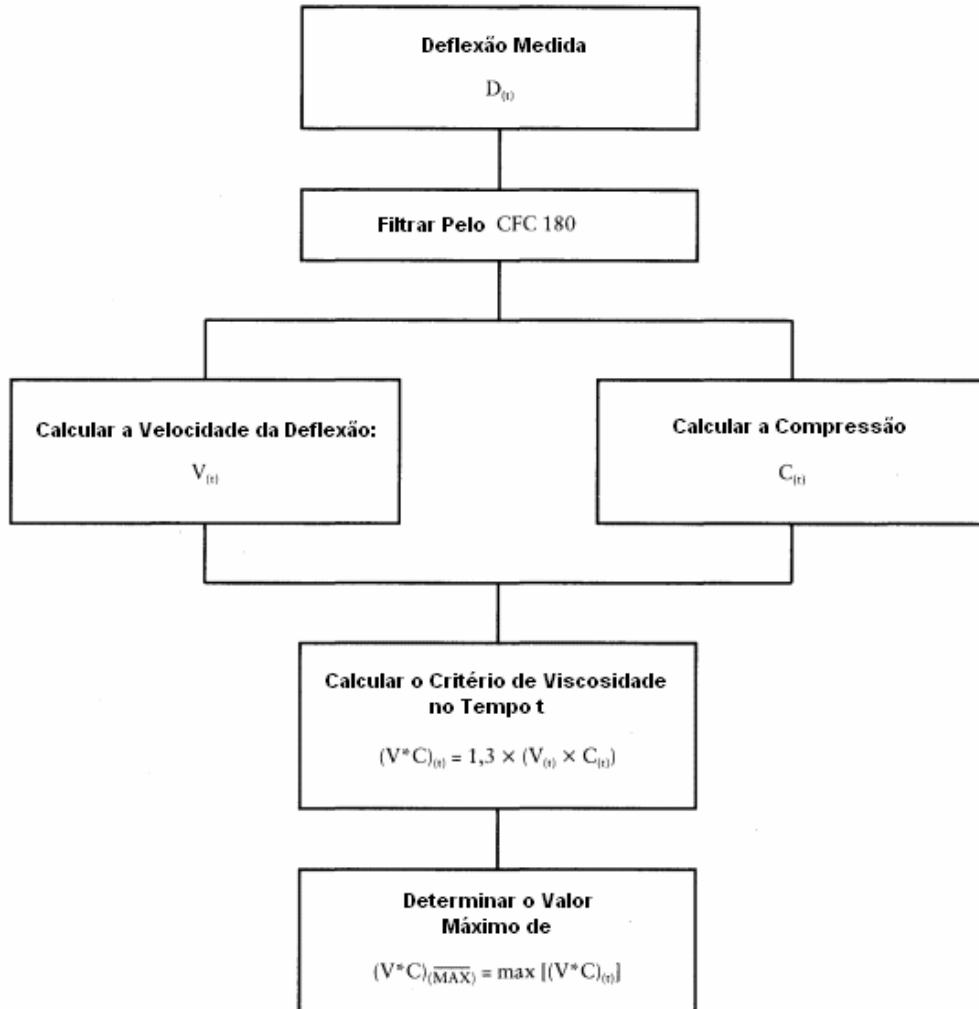


Figura 14 – Processo de Cálculo do Critério de Viscosidade (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008)

2.2.2.8 Teste de impacto

Esta seção irá descrever os recursos necessários para se realizar o teste de impacto.

- *Piso do teste de impacto*

A área de teste tem de ser grande o suficiente para acolher a pista de aceleração do veículo, a barreira de impacto onde o veículo irá colidir e as

instalações técnicas do teste. Nos cinco últimos metros antes da colisão com a barreira de impacto a pista de aceleração deve ser horizontal, plana e lisa (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

➤ *Barreira de impacto*

A barreira de impacto é uma barreira de impacto deformável. Sua construção segue especificações para manter sua deformação conhecida e constante (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

A barreira de impacto mostrada no anexo 6 da Diretiva 96/79/EC é composta pelo bloco principal com estrutura estilo “colméia de abelha”, pára-choque, chapa traseira, chapa de revestimento, chapa de altura do pára-choque e adesivo (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008). Uma ilustração da barreira de impacto é mostrada da figura 15 (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008).

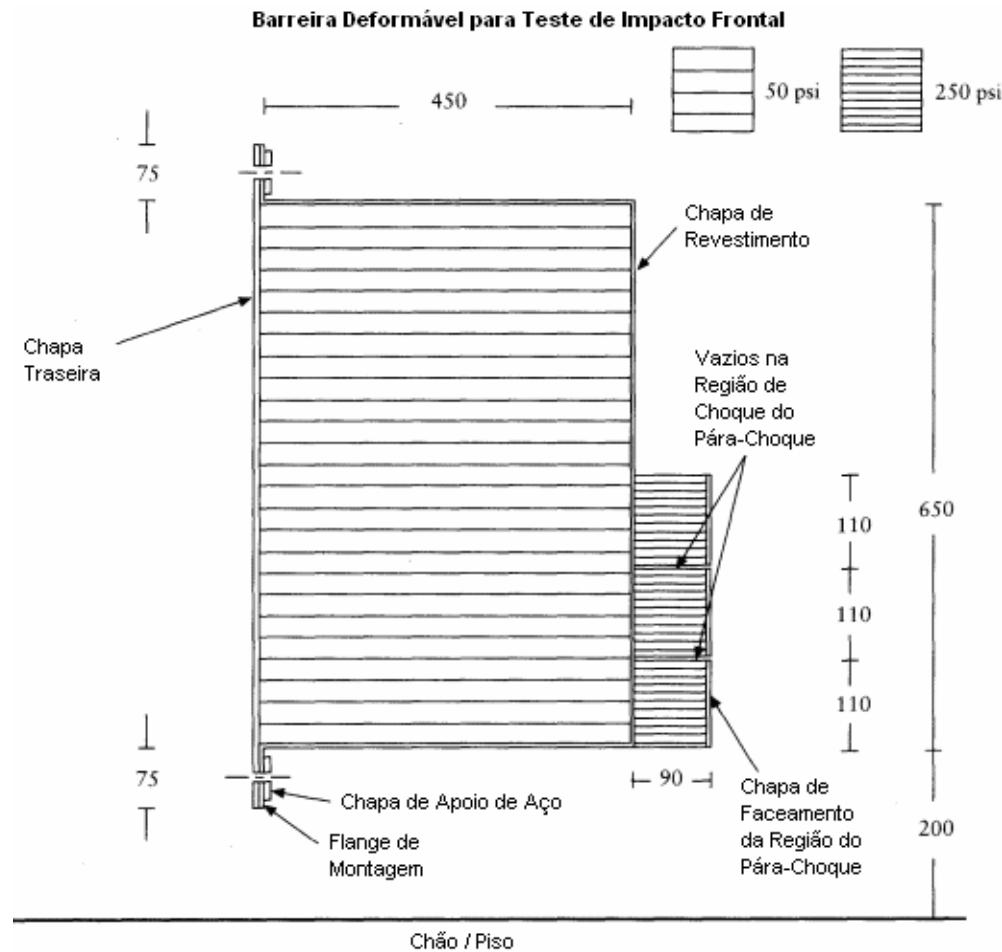


Figura 15 – Barreira Deformável de Impacto Frontal (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008)

- Bloco Principal com estrutura estilo “Colméia de Abelha”

Nesta peça, todas as dimensões devem permitir uma tolerância de $\pm 2,5\text{mm}$ (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008). O bloco é ilustrado na figura 16.

Laterais da Estrutura de Colméia de Abelha, suas Dimensões e Medidas

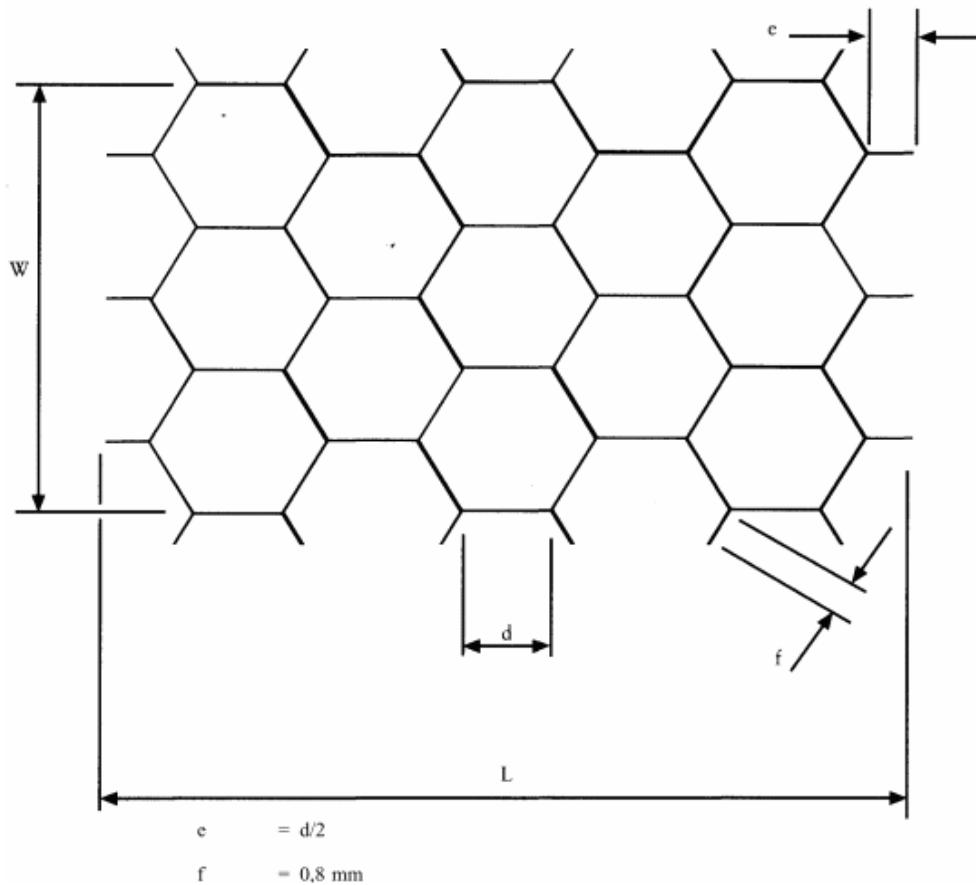


Figura 16 – Dimensões da Estrutura de Colméia de Abelha (96/79/EC, 2000 & ECE R94, 2008)

- A altura da peça é de 650 mm, sendo esta a direção das nervuras da “Colméia de Abelha”.
- A largura da peça é de 1000 mm.
- A profundidade da peça é de 450 mm, sendo esta a direção do eixo das células da “Colméia de Abelha”.
- O material da peça é o Alumínio 3003, de acordo com a especificação ISO 209, parte 1.
- A largura das nervuras, ou paredes, da “Colméia de Abelha” é de 0,076 mm.
- O tamanho das células da colméia é de 19,14mm.
- A resistência ao amassamento é de 0,342 MPa + 0% - 10% (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).
- Região de Choque do Pára-Choque - Detalhes
 - Altura: $330 \pm 2,5 \text{ mm}$.
 - Largura: $1000 \pm 2,5 \text{ mm}$.
 - Profundidade: $90 \pm 2,5 \text{ mm}$, na direção das nervuras da colméia de abelha.

- Material: Alumínio 3003 (ISO 209, parte 1) (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).

- Espessura da chapa 0,076 mm.
- Tamanho da célula: 6,4 mm.
- Densidade: 82,6 kg/m³.
- Resistência ao esmagamento: 1,711 Mpa + 0% - 10% (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).

- Chapa Traseira – Detalhes

- Altura: 800 ± 2,5 mm.
- Largura: 1000 ± 2,5 mm.
- Espessura: 2,0 ± 0,1 mm (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).

- Chapa de Revestimento – Detalhes

- Comprimento: 1700 ± 2,5 mm.
- Largura: 1000 ± 2,5 mm.
- Espessura: 0,81 ± 0,07 mm.
- Material: Alumínio 5251/5052 (ISSO 209, parte 1) (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).

- Chapa de Faceamento da Região do Para-Choque - Detalhes

- Altura: 330 ± 2,5 mm.
- Largura: 1000 ± 2,5 mm.
- Espessura: 0,81 ± 0,07 mm.
- Material: Alumínio 5251/5052 (ISSO 209, parte 1) (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).

- Adesivo – Detalhes

O adesivo a ser usado para revestimento deve ser um adesivo de duas partes de poliuretano, como a resina XB5090/1, com a resina endurecedora XB5304, da Ciba-Geigy ou equivalente (96/79/EC, 2000 & ECE 94, 2008).

2.2.3 Brasil

Esta seção irá mostrar todos os testes de impacto frontal veicular, usados até a nova resolução 221 do CONTRAN e as novas resoluções 221 e 311, bem como as novas normas de impacto veicular frontal ABNT NBR 15300-1/2/3.

2.2.3.1 Resolução CONTRAN 463

Antes da publicação da Resolução do Conselho Nacional de Trânsito, Número 221, de 2007, que regulamenta o critério máximo de ferimento ao ocupante em caso de impacto veicular frontal (CONTRAN 221, 2007) e da publicação da Resolução do Conselho Nacional de Trânsito, Nacional 311, que regulamenta o uso obrigatório de *Air bag* nos veículos nacionais (CONTRAN 311, 2009), no teste de impacto veicular frontal tratava-se da análise de critérios físicos veiculares para correlação com possíveis ferimentos aos ocupantes. A resolução que define os critérios usados foi publicada na Resolução do Conselho Nacional de Trânsito, Número 463 de 1973, que define:

- Superfícies refletivas – publicadas em 1974;
- fixação dos bancos – publicadas em 1975;
- intrusão do sistema de direção – publicado em 1976;
- freio de serviço hidráulico, freio de estacionamento e freio de emergência – publicado em 1976;
- lâmpadas de alerta intermitentes – publicada em 1974;
- controle e operação do sistema de direção absorvedor de energia – publicado em 1977;
- posição, identificação e iluminação dos controles – publicados em 1976;
- retrovisores – publicado em 1976;
- travas e maçanetas das portas laterais – publicados em 1977;
- tanque de combustível, entrada do tanque e suas conexões – publicado em 1977 (CONTRAN 463, 2006).

Destes itens que a resolução avalia, a Intrusão do Sistema de Direção e o Tanque de Combustível, Entrada do Tanque e suas Conexões, são feitos com o impacto frontal do veículo, a uma barreira fixa perpendicular, com 100% de sobreposição, a 48 km/h (CONTRAN 463, 2006). Para o teste de impacto frontal, a 48 km/h, com 100% de sobreposição, o centro do volante do veículo não pode se mover mais que 127 mm na direção horizontal, no sentido do motorista. Para o critério de vazamento de combustível, não pode haver vazamento de combustível para o veículo abastecido com 90% da capacidade do seu sistema, a uma razão de 28g/min, sendo também este volume máximo de vazamento de 28g de fluído (CONTRAN 463, 2006).

O fluído usado no teste, como combustível, tem que ser um fluido de peso específico não menor que o do combustível do veículo e viscosidade aproximadamente igual (CONTRAN 463, 2006).

A Resolução do CONTRAN 463 especifica que os bonecos de teste, ou *dummies* ou manequins, podem ser usados para verificar a condição do ocupante do veículo no impacto frontal, assim como podem analisar os possíveis ferimentos a que os ocupantes estarão sujeitos. Porém o uso destes manequins de teste é opcional, não obrigatório de ser realizado (CONTRAN 463, 2006).

O teste de impacto frontal, conforme Resolução do CONTRAN 463 é realizado conforme mostrado no fluxograma da figura 17.

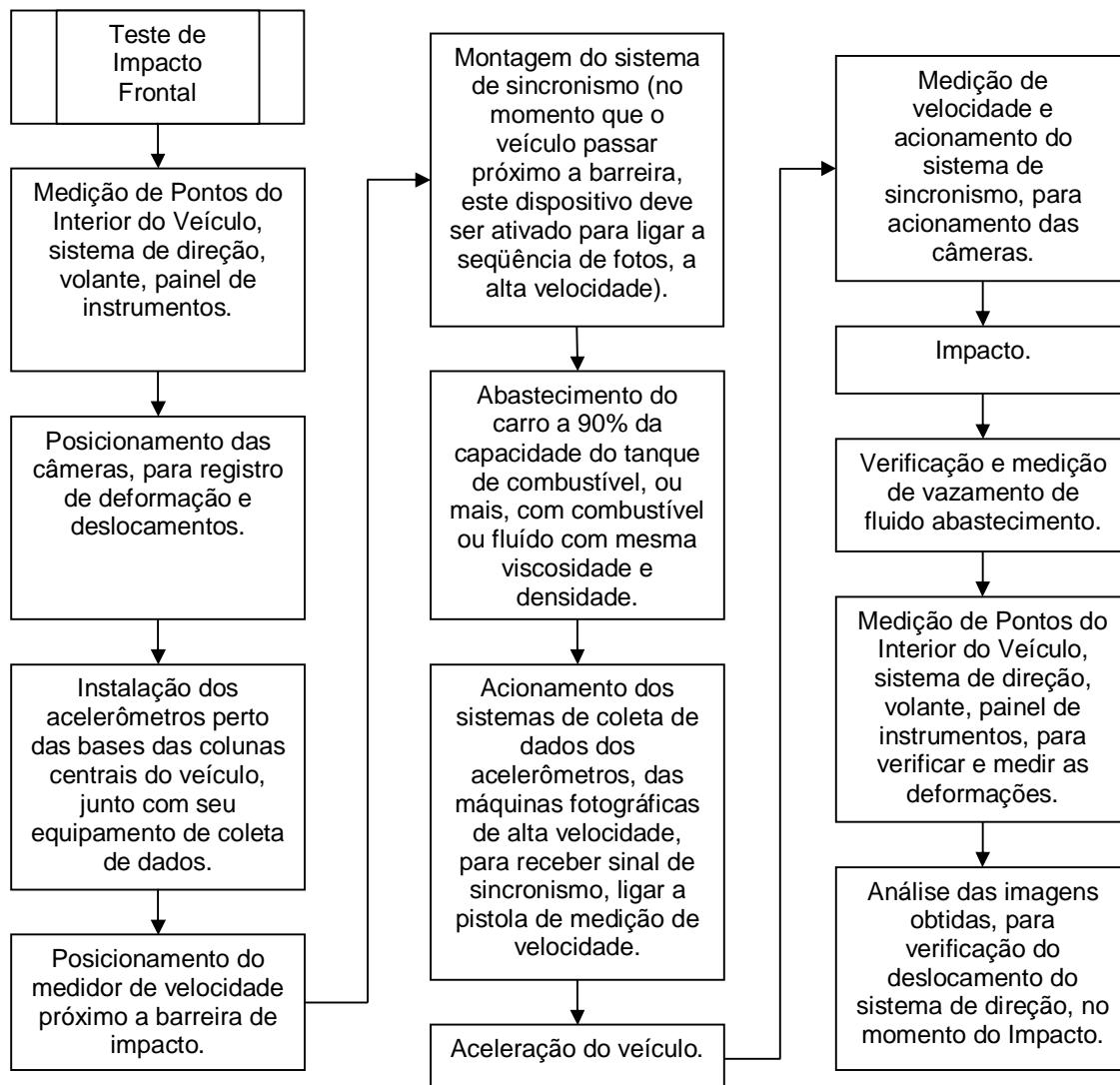


Figura 17 - Processo de Teste de Impacto Frontal pela Resolução CONTRAN 463

Considerando um sistema de teste em que o veículo seja rebocado para chegar à velocidade de 48 km/h e que a velocidade do veículo seja medida por uma pistola de medição, a laser ou a radar, o procedimento do teste passa a ser conforme o fluxograma da figura 18, também adicionando as verificações de equipamento, antes do teste.

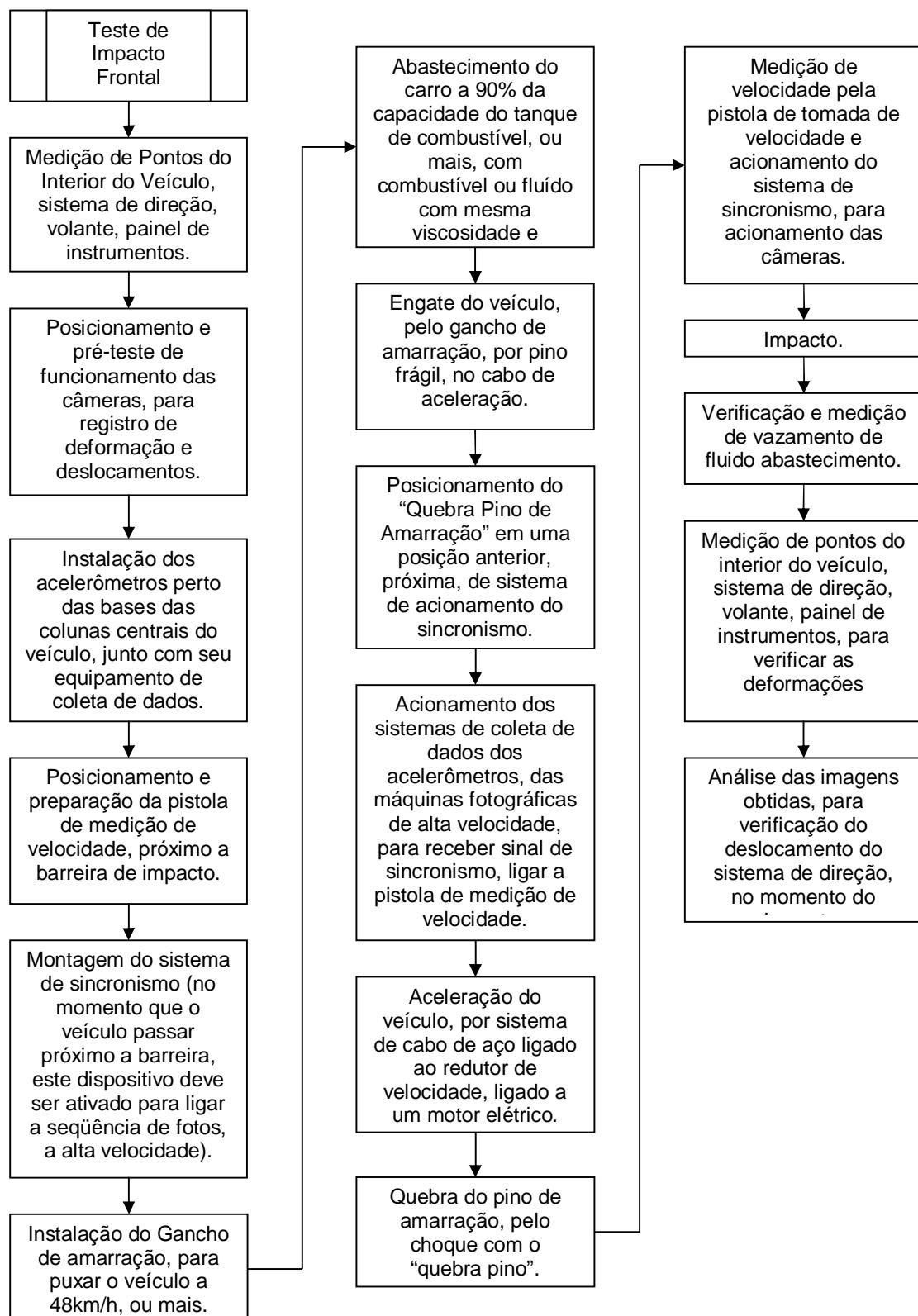


Figura 18 - Processo de Teste de Impacto Frontal Completo pela Resolução CONTRAN 463

- Posicionamento das Câmeras

De acordo com a Resolução 463 é desejável que toda a extensão do teste seja fotografada, porém não sendo isto possível, o mínimo de duas câmeras de alta velocidade é necessário (CONTRAN 463, 2006).

Ao menos duas câmeras devem estar posicionadas de cada lado do lugar do impacto, sendo que seu campo de visão deve incluir o veículo de teste e sua rota perpendicular até a barreira, no momento do impacto (CONTRAN 463, 2006).

No veículo e na área do teste deve haver marcas de distâncias, para referência na análise das imagens. Também estas máquinas devem poder gravar nas imagens o tempo em que as fotos foram tiradas, para a análise das deformações (CONTRAN 463, 2006).

Uma câmera superior pode ser usada no teste. Esta câmera deve estar posicionada na direção da linha de centro do veículo e seu campo de visão deve conter pelo menos 2/3 da frente do veículo, durante o impacto. Também, uma câmera pode ser usada para captar imagens da parte inferior do veículo e uma câmera própria para altas acelerações pode ser instalada dentro do veículo, para captar imagens dos bonecos de teste, caso se deseje usá-los no teste (CONTRAN 463, 2006).

Um maior número de câmeras pode mostrar detalhes de teste de impacto em lugares específicos e muitas vezes necessários em testes de desenvolvimento de veículo, quando se faz um estudo para a análise, ou verificação de algum novo desenvolvimento ou mudança de projeto. Também, caso um teste falhe, um maior número de câmeras aumenta a chance de se verificar algum comportamento não esperado do veículo e assim encontrar a falha e a solução em tempo mais curto.

- Posicionamento dos Acelerômetros

A aceleração total do veículo pode ser medida por acelerômetro colocado perto da travessa de fixação do cinto de segurança ou na coluna lateral central, na mesma direção (esquerda / direita) da fixação do cinto de segurança, porém, não próximo do ponto de ancoragem da fixação do cinto de segurança para as possíveis deformações não influenciarem os resultados. É recomendada a utilização de acelerômetros nos dois lados do veículos para poder coletar os dados mesmo se algum dos acelerômetros desalinhhar na deformação da direção perpendicular à barreira (CONTRAN 463, 2006).

No caso de um número maior de acelerômetros, as chances de algum deles não ficar posicionado em uma região de não deformação são maiores, ampliando assim, as chances de sucesso na coleta correta da aceleração e no teste.

- Aceleração do Veículo

Para a aceleração do veículo, até a velocidade de 48 km/h, o veículo pode ser acelerado em uma descida de ladeira, ser rebocado, ser dirigido por controle remoto ou pode ser guiado por trilhos-guia (CONTRAN 463, 2006).

Uma forma utilizada é o reboque por cabo de aço via equipamento elétrico com redução mecânica. Este equipamento tem a vantagem de ser facilmente monitorado em uma sala de controle junto com a velocidade do veículo, além de poder ser utilizado o cabo de reboque em um nível mais baixo que o nível do chão, possibilitando assim, que em caso de movimentação lateral do veículo, durante o teste, este não se choque com o sistema de reboque e ao mesmo tempo fique livre para se movimentar, o que poderia não ocorrer em um sistema de trilhos.

Este sistema deve acelerar o veículo até próximo à barreira de impacto, mas deve se soltar do veículo antes da medição de velocidade.

Um sistema usado para a separação é o de quebra do pino de amarração. O sistema de reboque é colocado na altura do solo e ao se aproximar da barreira o pino de amarração se choca com uma bigorna especialmente colocada, quebrando o pino de amarração e separando o veículo do sistema de aceleração.

2.2.3.2 Resolução CONTRAN 221

Em 2007, o Conselho Nacional de Trânsito, o CONTRAN, considerando a necessidade de se criar critérios biomecânicos de proteção aos ocupantes dos veículos para o caso de impacto veicular e visando a necessidade de se melhorar e atualizar os requisitos de critério de integridade do sistema de combustível, liberou a Resolução 221, de 2007, que determina para todos os automóveis e camionetas, a necessidade de se atender a norma ABNT NBR 15300-1, em conjunto com a norma ABNT NBR 15300-2, ou a norma ABNT NBR 15300-3 para o critério de proteção ao ocupante em ensaio de impacto frontal. A escolha do atendimento à norma ABNT

NBR 15300-2 ou da norma ABNT NBR 15300-3 é de critério da montadora do veículo (CONTRAN 221, 2007). Elas determinam, respectivamente, ensaio de impacto frontal em choque do veículo com barreira frontal rígida e de 100% de sobreposição da largura do veículo, semelhante à norma americana FMVSS 208, de impacto frontal à barreira rígida, com sobreposição de 100% (ABNT NBR 15300-2, 2010) e barreira de impacto deformável, com 40% de sobreposição da largura do veículo, semelhante à norma das Nações Unidas / Européia E.C.E. 94 (ABNT NBR 15300-2, 2010).

As normas ABNT NBR 15300-1, ABNT NBR 15300-2 e ABNT NBR 15300-3 circulou em consulta nacional, para o processo de análise sistemática, desde 2005 e teve seu conteúdo confirmado em 16 de setembro de 2010 (ABNT NBR 15300-1, 2010, ABNT NBR 15300-2, 2010, ABNT NBR 15300-3, 2010).

A obrigatoriedade do atendimento a Resolução 221 do CONTRAN será para todos os veículos novos, fabricados a partir de 11 de janeiro de 2012 e a partir de 11 de janeiro de 2014 para os veículos já em produção.

O CONTRAN, em 2009, visando aumentar a proteção ao ocupante do veículo, liberou a Resolução 311, que torna obrigatório o uso do *Air Bag* em todos os veículos de passageiros com até oito lugares e em todos os veículos de transporte de cargas com massa de até 3,5 toneladas, válido também para as camionetas (Resolução CONTRAN 311, 2009). Esta resolução deve atender aos requisitos de proteção ao ocupante da Resolução do CONTRAN 221, de 2007 (CONTRAN 311, 2009).

2.2.3.3 Teste de impacto frontal em barreira rígida com sobreposição de 100% – ABNT NBR 15300-2

A norma NBR 15300-2 tem a forma de teste de impacto muito próximo à forma de teste da Resolução do CONTRAN 463, no qual o veículo se choca com uma barreira rígida com 100% de sobreposição da largura do veículo, a 48 km/h (ABNT NBR 15300-2, 2010 – CONTRAN 463, 2006), tornando possível o estudo para remodelamento de um local de teste da Resolução CONTRAN 463 para também atender a norma ABNT NBR 15300-1 com a norma ABNT NBR 15300-2.

O teste de impacto frontal, conforme norma ABNT NBR 15300-1 em conjunto com a norma ABNT NBR 15300-2 tem seu procedimento teste conforme o fluxograma da figura 19:

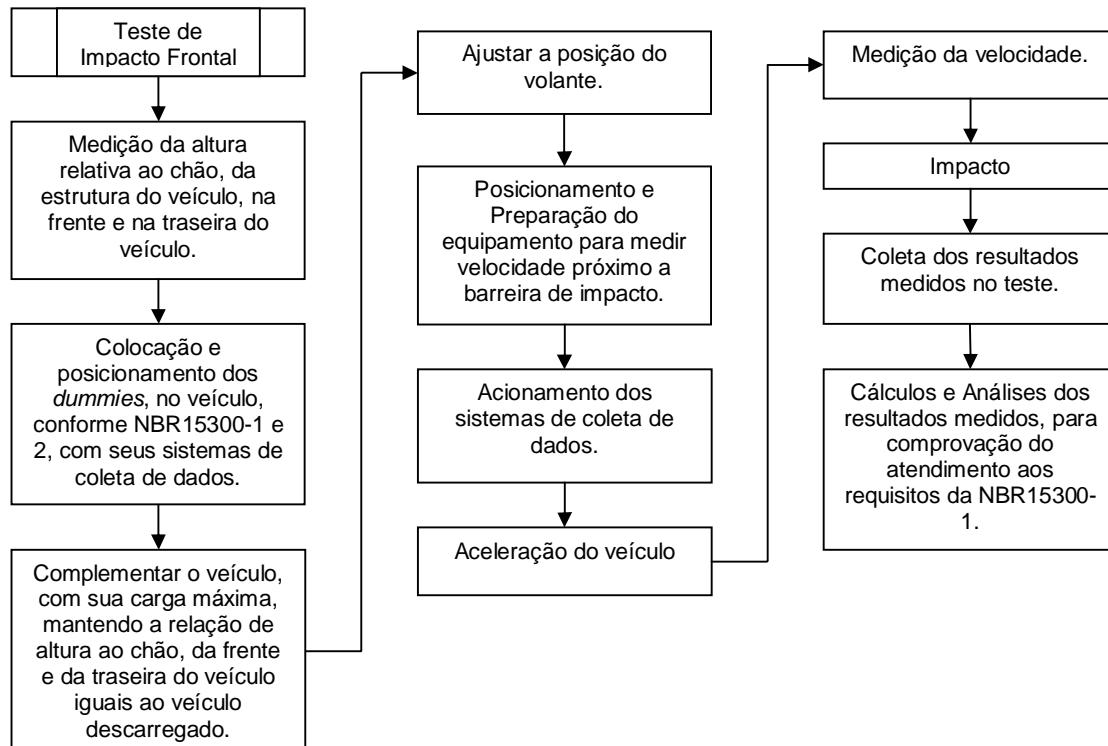


Figura 19 - Processo de Teste de Impacto Frontal com 100% de Sobreposição, conforme norma ABNT NBR 15300-1 em conjunto com a norma ABNT 15300-2

Como forma de se ter um teste em que mais análises de engenharia possam ser feitas, para o melhor entendimento, câmeras e acelerômetros também são usados no teste. Desta forma, já com os equipamentos necessários, não especificados na norma ABNT NBR 15300-1 e ABNT 15300-2, temos o fluxograma de teste conforme o fluxograma da figura 20:

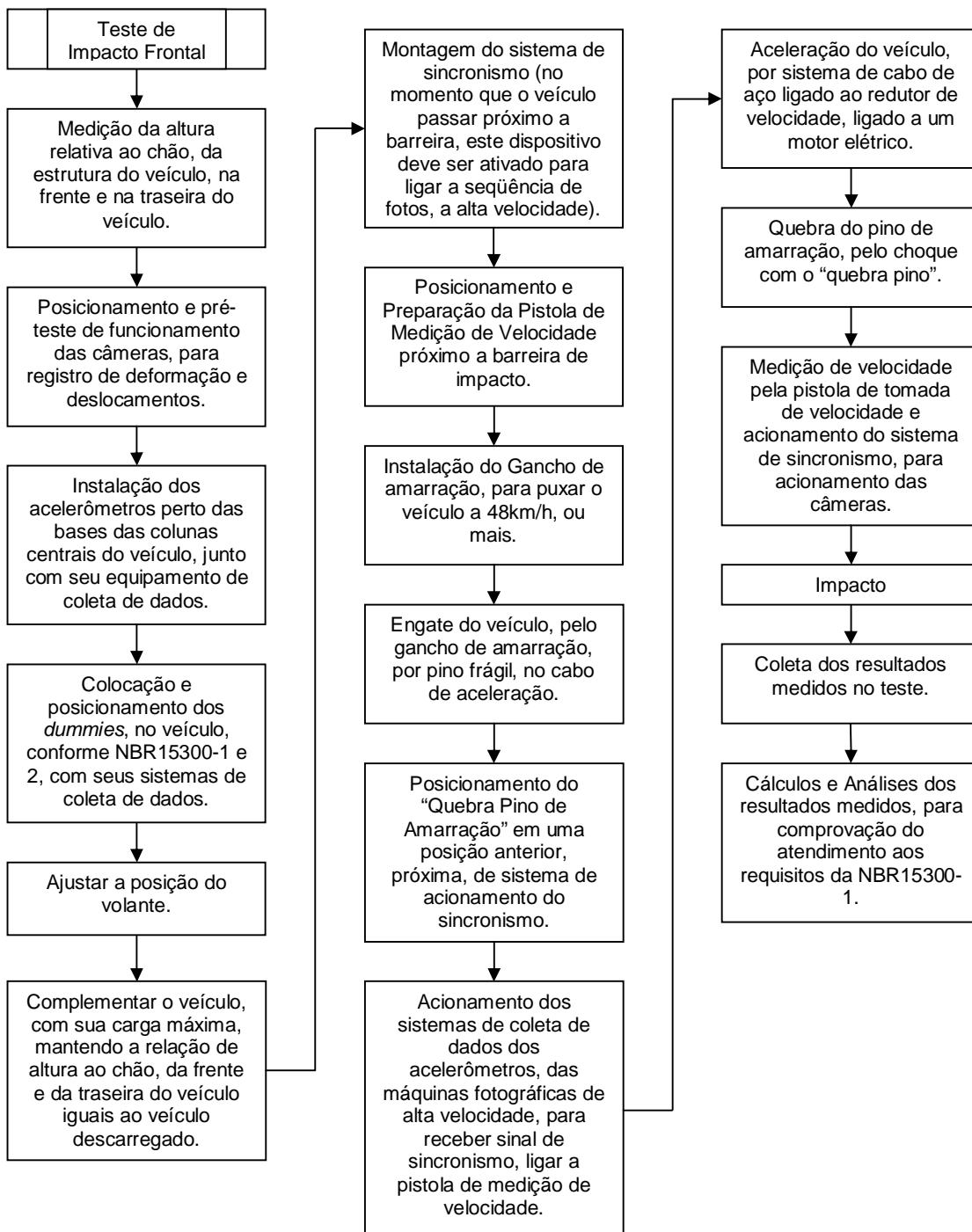


Figura 20 - Processo de Teste de Impacto Frontal com 100% de Sobreposição, com equipamentos para análises de resultados

➤ *Altura relativa da frente e traseira do veículo*

O veículo deve ter sua altura do vão das rodas dianteiras e traseiras medidas, em relação a um plano horizontal, quando este estiver vazio. Ao ser carregado, para o teste, o veículo deve manter a relação de altura dos vãos de roda dianteiros e traseiros proporcionais (ABNT NBR 15300-2, 2010).

A massa do veículo para o teste deve ser a massa do veículo carregado. As massas dos manequins e da instrumentação têm de estar contidas no valor da massa do veículo carregado (ABNT NBR 15300-2, 2010).

2.2.3.4 Teste de *impacto frontal em barreira deformável com sobreposição de 40%* – ABNT NBR 15300-3

Pela norma ABNT NBR 15300-3, o veículo é testado e verificado nos mesmos moldes da norma ECE 94 (2008) incluindo a barreira de impacto e os valores a serem atingidos de ferimento do manequim de teste e de desempenho do veículo (ABNT NBR 15300-3, 2010 & ECE 94, 2008).

Neste teste, o manequim de teste se mantém o modelo *Hybrid III*, de percentil 50% da população masculina. Porém, é adicionado células de carga na parte inferior das pernas para fazer a medição dos ferimentos na tíbia (ABNT NBR 15300-3, 2010).

No fluxograma da figura 21 é mostrado o procedimento de realização do teste conforme a ABNT NBR 15300-3.

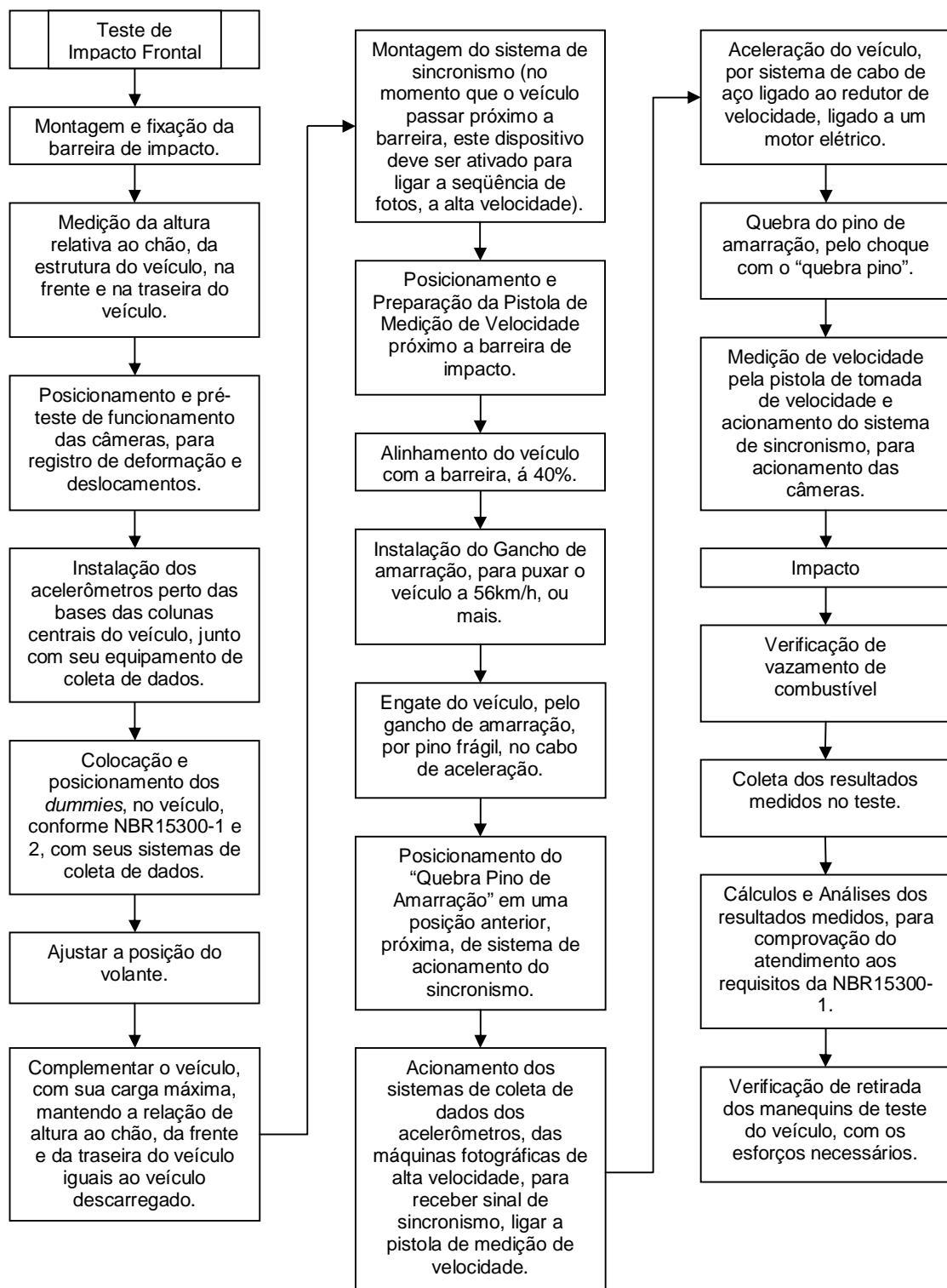


Figura 21 - Processo de Teste de Impacto Frontal com 40% de Sobreposição, com equipamentos para análises de resultados

2.2.3.5 Colocação e posicionamento dos manequins de teste

Os manequins de teste devem ser do tipo *Hybrid III*, conforme norma FR REG 572:2003 (*Motor Vehicle Federal Regulation No. 572 – Especificações de Manequins de Teste*), com tornozelos de 45° e sua instrumentação de coleta de dados deve estar conforme norma ABNT NBR 7335 (ABNT NBR 15300-1, 2010).

No veículo, deve ser posicionado um manequim de teste em cada assento lateral dianteiro. Os planos das costas dos manequins devem coincidir com o plano do encosto do banco. Caso o banco dianteiro seja inteiriço, sem posição definida, o manequim do motorista deve ser posicionado com sua linha de centro coincidindo com a linha de centro do volante e o manequim do passageiro deve ser posicionado conforme recomendação do fabricante (ABNT NBR 15300-1, 2010).

As partes do manequim devem ser posicionadas das seguintes formas:

- Cabeça: A plataforma de instrumentação da cabeça do manequim deve-se manter na horizontal, com no máximo 0,5°.
- Braços: A parte superior dos braços devem ser adjacentes e laterais ao peito, encostados no encosto do banco.
- Mão do Motorista: Devem estar em contato com a parte externa do aro do volante, na linha horizontal e passando pelo centro do volante. Os polegares devem ser posicionados para cima e presos com fita adesiva, de forma que se a mão do manequim for puxada com uma força não menor que 9N e não maior que 22N, a fita se solte.
- Mão do Passageiro: As mãos do passageiro devem ficar encostadas nas laterais externas das coxas, com o dedo mínimo também em contato com o assento.
- Ponto H: é o ponto de pivotamento entre as coxas e o dorso. Este ponto é definido pelo uso da máquina do ponto H, de acordo com a ABNT NBR 6059. Este equipamento é ilustrado na figura 22 e na figura 23, para o modelo carregado. O ponto H é o ponto central do eixo de pivotamento.

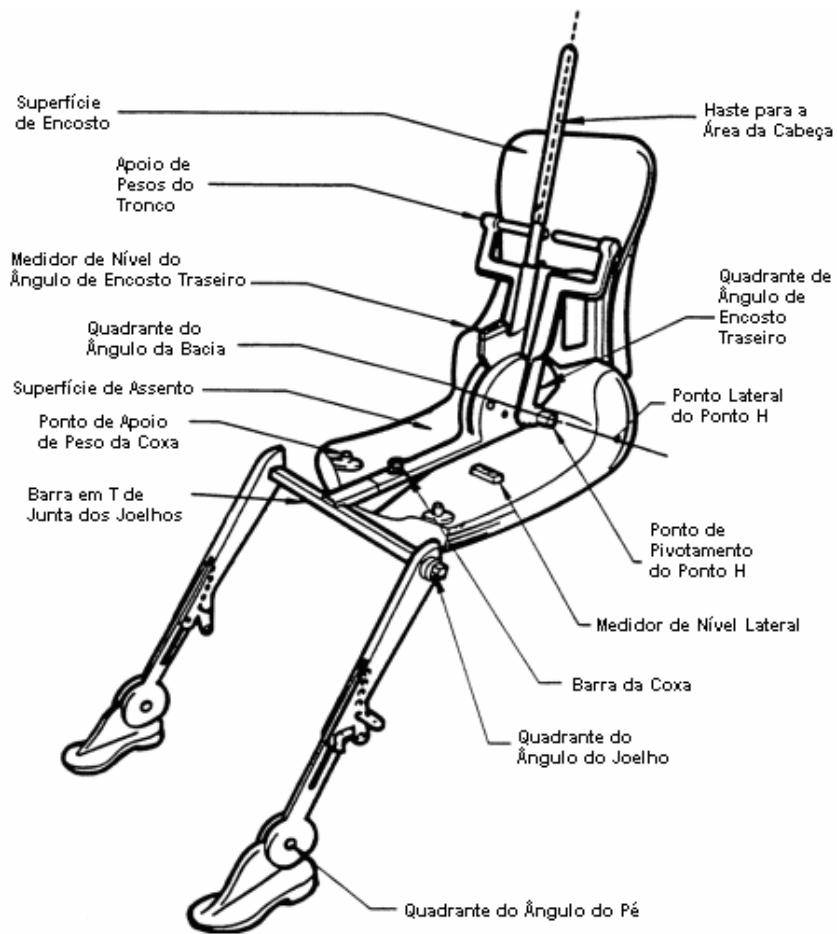


Figura 22 – Máquina do Ponto H (ECE R94, 2008)

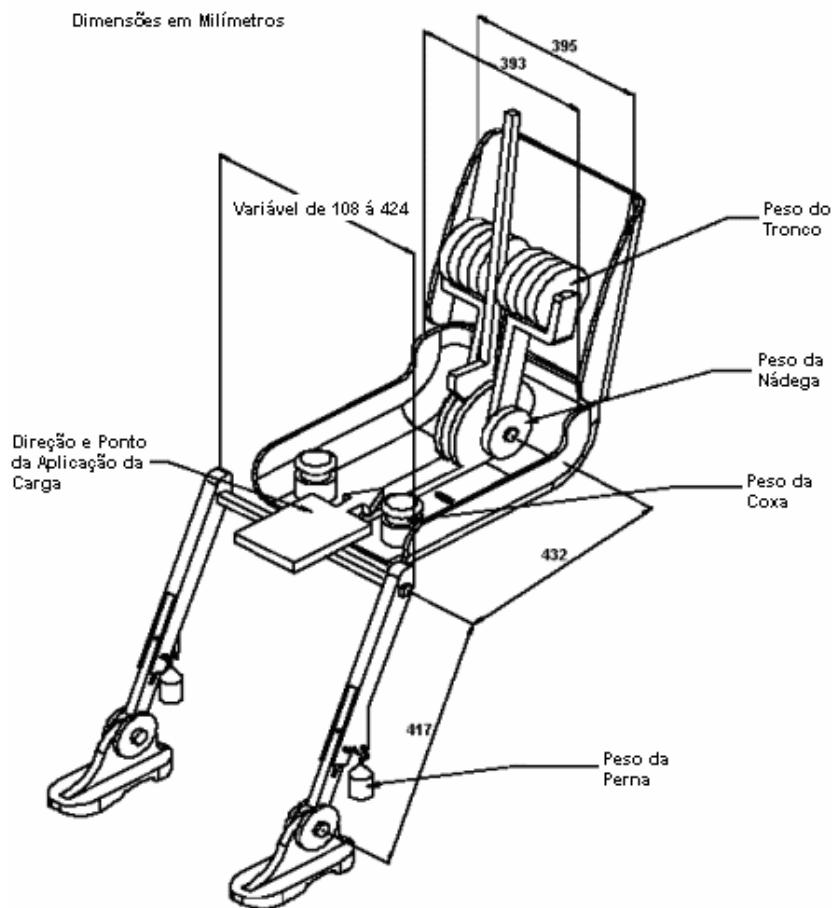


Figura 23 – Máquina do Ponto H Carregada (ECE 94, 2008)

Para a medição do ponto H, a máquina do ponto H é carregada nos centros de gravidade, para uma penetração no assento equivalente a um homem de 77 kg.

- Ponto H dos Manequins: O ponto H dos manequins de teste tem de estar dentro de 13 mm na horizontal e dentro 13 mm de distância do ponto 6 mm abaixo do ponto H medido na vertical.

- Ângulo da Pélvis: tem de estar a $22,5^\circ \pm 2,5^\circ$ medidos em uma superfície de 76,2mm no ponto de calibração do ponto H do manequim de teste.

- Pernas: As coxas devem estar encostadas no assento do banco. Os joelhos devem estar a $270\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ das suas laterais internas. Se possível, a perna esquerda do manequim motorista e as duas pernas do manequim passageiro devem estar longitudinalmente a um plano vertical e a perna direita do manequim motorista também deve estar longitudinalmente a um plano vertical.

- Pés do Motorista: O pé do motorista deve estar no acelerador sem exercer pressão, com o calcâncar o mais distante do plano do acelerador e encostado ao assoalho do veículo. Se isso não for possível, precisa estar posicionado

perpendicular à tíbia e o mais próximo possível na direção da linha de centro do pedal do acelerador, com o calcanhar o mais afastado e encostado no assoalho. O pé esquerdo tem de ser posicionado o mais plano possível na parte inclinada do assoalho, com o calcanhar no assoalho e o mais para frente possível. A linha de centro do pé esquerdo tem de estar o mais paralelo possível da linha de centro do veículo.

- Pés do Passageiro: Os pés têm de estar o mais plano possível na parte inclinada do assoalho, com os calcanhares no assoalho o mais para frente possível. As linhas de centro dos pés têm de estar o mais paralelo possível da linha de centro do veículo (ABNT NBR 15300-1, 2010).

A instrumentação do carro não pode interferir no movimento dos manequins. Além disso, a temperatura deve estar o mais estável possível, entre 19°C e 20°C e os manequins devem estar trajados com camisa de algodão apertados, de manga curta, shorts ou bermuda, com sapato da norma MIL-S-13192P (ABNT NBR 15300-1, 2010).

Para o sistema de retenção - cintos de segurança -, deve-se afivelar seu fecho, tirando a folga da parte subabdominal e repetir por quatro vezes o ato de puxar o cinto para fora do retrator e deixar que ele se retraia sozinho. Após esta atividade, aplica-se uma carga de tensão de 9N a 18N na parte subabdominal do cinto. Caso o cinto seja equipado com sistema dissipador de tensão, deixar a folga máxima especificada pelo fabricante na parte superior do cinto. Caso não haja nenhum sistema de dissipação de energia, deixar que o sistema de retenção aplique a tensão para recolhimento do excesso de cadarço do cinto (ABNT NBR 15300-2, 2010).

2.2.3.6 Instrumentação e Sistema de Coleta de Dados

A norma que define a instrumentação a ser utilizada é a ABNT NBR 7335. Ela padroniza a instrumentação usada nos ensaios para uniformidade na utilização e apresentação dos resultados.

Na norma ABNT NBR 15300-1, é especificado quais os sensores a serem usados para medir as grandezas relativas ao teste. A tabela 2 mostra os sensores e as grandezas a serem medidas de acordo com a norma.

Tabela 2 – Sensores e suas grandezas de medida, para uso na ABNT NBR 15300-1 (ABNT NBR 15300-1, 2010)

Item	Região	Índice de Ferimento	Unidade	Filtro (CFC)	Observações
1	Cabeça	HIC	adimensional	1000	<p>HIC = Critério de Ferimento da Cabeça (<i>Head Injury Criterion</i>)</p> <p>Para qualquer dois pontos no tempo, t_1 e t_2, durante o evento em que eles não são separados por mais de 36ms de intervalo e onde t_1 é menor que t_2, o Critério de Ferimento da Cabeça (HIC) é determinado usando a aceleração resultante no centro de gravidade da cabeça do manequim de teste (a_r), expressos em múltiplos de g (aceleração da gravidade).</p>
2	Cabeça	Acc3ms	g	1000	Acc3ms = Aceleração acumulativa resultante da cabeça durante o período de 3 ms.
3	Pescoço	My	N.m	600	<p>My = Momento fletor relativo ao eixo y.</p> <p>O critério do momento fletor do pescoço é determinado pelo momento fletor em relação ao eixo lateral da interface entre cabeça e pescoço.</p>
4	Pescoço	Nij	kN	1000	Nij = Critério de Ferimento do Pescoço Normalizado.
5	Tórax	DT	mm	180	DT = Deflexão no Tórax.
6	Tórax	AT	g	180	AT = Aceleração no Tórax
7	Tórax	ThCC	mm	180	ThCC = Critério de Compressão do Tórax
8	Tórax	V*C	m/s	180	<p>V*C = Velocidade de Compressão (velocidade de compressão ou critério de viscosidade).</p> <p>O V*C é calculado usando o produto da compressão instantânea (relação entre a deflexão atual e a deflexão máxima permitida) e o valor da deflexão externa.</p>
9	Fêmur	FFA	kN	600	FFA = Força no Fêmur Transmitida Axialmente
10	Fêmur	FFC	kN	600	<p>FFC = Critério de Força no Fêmur (<i>Femur Force Criterion</i>)</p> <p>O FFC é determinado pelo carregamento de compressão, expressos em quilograma-Newton, transmitidos axialmente para cada fêmur do manequim de teste.</p>
11	Joelho	MJDJ	mm	180	MJDJ = Movimento das Juntas de Escorregamento do Joelho (<i>Movement of the Sliding Joints of the Knee</i>).
12	Tíbia	TI	adimensional	180	<p>TI = Índice da Tíbia (<i>Tibia Index</i>)</p> <p>O TI é calculado para a parte superior e inferior de cada tíbia. Os momentos M_x e My são analisados separadamente, nos lugares. Porém, o F_z pode ser analisado em qualquer posição. O valor obtido é usado para o cálculo do TI para a parte superior e inferior, das duas tíbias.</p>
13	Tíbia	TCFC	kN	600	<p>TCFC = Critério de Força de Compressão da Tíbia (<i>Tibia Compression Force Criterion</i>)</p> <p>O TCFC é determinado pela força de compressão (F_z) transmitida axialmente para cada tíbia do manequim de teste.</p>

O CFC (classe de freqüência do canal) é indicado pelo número da resposta de freqüência do canal (F_H), em Hz (ECE 94, 2008).

Um canal de medição é uma saída de dados processados de um transdutor simples, ou mais de um transdutor (ABNT NBR 7735, 1982).

Em função do tipo de precisão do sinal de entrada é recomendado o CFC, para cada aplicação do teste, em função do tipo de precisão dinâmica da freqüência dos sinais de entrada. A razão entre entrada / saída do canal, pela freqüência do sinal de calibração é mostrada na figura A1 do anexo A, para as classes de canais de medição mostrados na tabela 3. A figura mostra a faixa de limites recomendados para as classes de canais (ABNT NBR 7735, 1982).

Tabela 3 – Tabela das respostas de freqüência (ABNT NBR 7735, 1982)

Classe do canal	f_I Hz	a dB	f_H Hz	b dB	f_N Hz	c dB	d dB oitava	e dB oitava	g dB
1000	0,1	+1/2 -1/2	1000	+1/2, -1	1650	+1/2, -4	-9	-24	-30
600	0,1	+1/2 -1/2	600	+1/2, -1	1000	+1/2, -4	-9	-24	-30
180	0,1	+1/2 -1/2	180	+1/2, -1	300	+1/2, -4	-9	-24	-30
60	0,1	+1/2 -1/2	60	+1/2, -1	100	+1/2, -4	-9	-24	-30

A tabela 4 mostra as classes de canais recomendados para cada aplicação do teste, sendo que as suas respostas em freqüência estão contidas na faixa recomendada da figura A1 do anexo A (ABNT NBR 7735, 1982).

Tabela 4 – Classe do Canal para as diversas medições (ABNT NBR 7735, 1982)

Ensaios típicos	Classe do canal
Aceleração dos veículos	
Comparação geral	60
Simulação de colisão	60
Análise de componentes	600
Integração para velocidade ou deslocamento	180
Força na barreira	60
Carga nos cintos de segurança e suas ancoragens	60
Ocupantes	
Aceleração craneana	1000
Aceleração torácica	180
Deflexão torácica	180
Compressão femoral	600
Aceleração do trenó	60
Carga na coluna de direção	600
Aceleração do dispositivo representativo da cabeça humana	1000

2.2.3.7 Demais ajustes do veículo

- Caso o veículo seja equipado com sistema de regulagem do volante, este deve ser posicionado na sua posição central, ao menos que especificado pelo fabricante.

- os vidros devem permanecer fechados;

- o cambio deve estar no ponto-morto;

- os pedais devem estar na posição normal de descanso. Caso haja regulagem, eles devem ficar na posição intermediária, a não ser que esta posição seja especificada pelo fabricante;

- as portas devem ficar fechadas, mas não travadas. O fabricante do veículo pode optar por trancar as portas se o veículo possuir um sistema de destravamento automático das portas em caso de acidente;

- o teto solar deve ficar fechado, ao menos que o fabricante queira deixá-lo aberto para testar;
- os tapa-sóis tem que ficar na posição de não-uso;
- os retrovisores devem ficar na posição normal de uso;
- se os descansa braços forem móveis, todos eles deveram permanecer abaixados, a não ser que a posição do manequim não permita;
- os assentos devem ficar na posição intermediária de ajuste do ponto H. Caso a altura também seja regulável, ela deve ficar na posição especificada pelo fabricante. O encosto do banco deve ficar na posição recomendada pelo fabricante, porém caso não haja recomendação, o encosto deve ficar com 25° de inclinação da vertical, para trás. Se os assentos traseiros forem ajustáveis, devem permanecer na posição mais para a traseira (ABNT NBR 15300-1, 2010).

2.2.3.8 Ferimentos aos ocupantes, para a Norma ABNT 15300-2

- Critério de Ferimento na Cabeça (*Head Injury Criterion – HIC*) ou Critério de Desempenho da Cabeça (*Head Performance Criterion – HPC*)

No evento do teste de impacto frontal, se o *dummy* não encostar em nenhuma peça do veículo, este critério estará aprovado. Se no evento do teste de impacto frontal a cabeça do *dummy* encostar-se a algo, este deverá seguir com o critério de aprovação pelo HPC, que não pode exceder 1000 e a aceleração resultante da cabeça não pode exceder 80g (para $g = 1$ x a aceleração da gravidade), por mais de 3 ms. Este valor é calculado acumulando-se a aceleração e excluindo os movimentos de rebote da cabeça. Abaixo, é mostrada a eq. 7 de cálculo para o HPC, que é a mesma eq. 3 e a mesma eq. 1, de cálculo do HIC (ABNT NBR 15300-1, 2010; FMVSS 208, 2010; 96/79/EC, 2000; ECE R94, 2008).

$$HPC = (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right]^{2,5} = (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [a_x^2 + a_y^2 + a_z^2]^{0,5} \, dt \right]^{2,5}$$

(Eq. 7)

Na eq. 7 a é a aceleração resultante medida no centro de gravidade da cabeça, via canal de classe de frequência (*Channel Frequency Class – CFC*) de 1000, nos três eixos, medidas em acelerações da gravidade g (1 g = 9,80m/s²) (96/79/EC, 2000, ECE-94, 2003, ABNT NBR 15300-1, 2010).

Sendo o início de contato da cabeça do *dummy* com a parte do veículo satisfatório, t_1 e t_2 são dois instantes, em segundos, definindo o intervalo entre o começo e o final da gravação dos valores, onde o valor do HPC é máximo. Se este início de contato da cabeça não pode ser determinado, t_1 e t_2 são dois instantes definindo um intervalo de tempo, contido entre o início de gravação, no qual o valor e HPC são máximos. Os valores de HPC, em que os intervalos de tempo de t_1 a t_2 são maiores que 36ms e ignorados para o cálculo de valor máximo (96/79/EC, 2000, ECE-R94, 2003, ABNT NBR 15300-1, 2010).

- Critério de Ferimento no Pescoço (Neck Injury Criterion – NIC) ou Ferimento no Pescoço (Neck Injury – N_{ij})

Para o critério de ferimento no pescoço, a força radial (F_x), a força axial (F_z) e o momento fletor (M_{yc}) devem ser medidos no pescoço do *dummy* durante todo evento do teste de impacto (ABNT NBR 15300-1, 2010).

Durante o evento do teste de impacto, a força axial (F_{zc}) pode ser uma compressão ou uma tensão. Também, o momento fletor occipital (M_{ocy} – *occipital condyle bending moment*) pode ser uma flexão ou uma deflexão, gerando assim quatro possíveis formas de resultados: tensão-deflexão (N_{te} – *tension-extension*), tensão-flexão (N_{tf} – *tension-flexion*), compressão-deflexão (N_{ce} – *compression-extension*) e compressão-flexão (N_{cf} – *compression-flexion*) (ABNT NBR 15300-1, 2010).

Para cada teste com *dummy*, existem valores máximos aceitos para F_z , na compressão e tensão, e para M_y , na flexão e deflexão (ABNT NBR 15300-1, 2010).

O cálculo de N_{ij} depende de algumas constantes:

- $F_{zc} = 6806$ N se F_z é uma força de tensão;
- $F_{zc} = 6160$ N se F_z é uma força de compressão;
- $M_{yc} = 310$ N para o momento fletor;
- $M_{yc} = 135$ N para o momento extensor (ABNT NBR 15300-1, 2010).

O N_{ij} em si é uma soma das razões entre as forças axiais aceitas e encontradas e dos momentos aceitos e encontrados, conforme a mesma eq. 2, da norma FMVSS 208 (ABNT NBR 15300-1, 2010; FMVSS 208, 2010):

$$N_{ij} = \left(\frac{F_z}{F_{zc}} \right) + \left(\frac{M_{ocY}}{M_{yc}} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

sendo que F_z e M_{ocY} se referem aos valores encontrados em teste e F_{zc} e M_{yc} se referem aos valores máximos aceitos. A cada instante, uma das quatro condições de carregamento acontece e o valor de N_{ij} correspondente a esta condição é computado e os valores remanescentes são considerados zero (ABNT NBR 15300-1, 2010).

Durante o teste:

- N_{ij} não pode ser maior que 1,0;
- F_z não pode ser maior que 4170 N, para a tensão;
- F_z não pode ser maior que 4000 N, para a compressão (ABNT NBR 15300-1, 2010).

- Tórax

Durante o teste, a aceleração resultante do tórax não pode exceder 60g e a compressão do tórax relativo à coluna vertebral não pode exceder 76 mm (ABNT NBR 15300-1, 2010).

- Coxas

A força transmitida axialmente pelas coxas não pode exceder 10 kN (ABNT NBR 15300-1, 2010).

2.2.3.9 Ferimentos aos ocupantes, para a Norma ABNT 15300-3

As verificações dos critérios de ferimentos, para os testes de impacto frontal conforme ABNT NBR 15300-3, seguem as mesmas definições da norma ECE R94 (ABNT NBR 15300-3, 2010 & ECE R94, 2008).

2.2.4 Austrália

A Austrália possui lei para verificação dos ferimentos dos ocupantes em caso de impacto em vigor, desde 1995 (ADR 69/00, 2007), antes mesmo da Europa, que teve sua lei em vigor a partir de 1998 (96/79/EC, 2000), tornando-se assim um dos países pioneiros no uso deste tipo de teste veicular. A Austrália possui duas leis para proteção aos ocupantes para um evento de impacto frontal. A primeira lei, a ADR 69/00 (2007), define o teste de impacto frontal com sobreposição de 100% em barreira rígida. Este teste, assim como o teste da FMVSS 208 com cinto de segurança tem as medições de ferimento ao ocupante apenas dos joelhos, para cima do corpo do manequim de teste. Este teste é realizado com o impacto a 48 km/h e as medições e objetivos das medições são os mesmos definidos para o teste de impacto frontal com manequim de teste 50% masculino, com cinto de segurança, da FMVSS 208 (ADR 69/00, 2007).

O segundo teste de impacto frontal, para a proteção dos ocupantes do veículo é a ADR 73/00 (2005). Ele define o teste de impacto frontal com sobreposição de 40% em barreira deformável, no mesmo modelo da norma ECE R94 (2008), incluindo as medições, objetivos a serem atingidos e a velocidade de impacto do teste (ADR 73/00, 2005). Ao atender o requisito ADR 73/00, tendo o veículo *Air Bag Duplo* dianteiro (motorista e passageiro) e mostrando tecnicamente que o veículo atende o requisito ADR 69/00, o teste de acordo com a ADR 69/00 passa a ser opcional (ADR 73/00, 2005).

2.2.5 Japão

Assim como a Austrália, o Japão também tem em sua lei o Artigo 18 da Regulação da Segurança para Veículos de Rodagem (JASIC, 2009) para o teste de proteção ao ocupante do veículo com o teste de impacto frontal, com sobreposição de 100%, em barreira rígida, e o teste de impacto frontal, com sobreposição de 40%, em barreira deformável.

No teste de impacto frontal, em barreira rígida, com sobreposição de 100%, o impacto é feito a 50 km/h e as medições e objetivos das medições são os mesmos definidos para o teste de impacto frontal, com manequim de teste 50% masculino com cinto de segurança, da FMVSS 208 (JASIC, 2009).

Para o teste de impacto frontal, com sobreposição de 40%, em barreira deformável, o teste e seus critérios de aprovação seguem as definições da ECE R94 (JASIC, 2009).

2.2.6 Diferenças entre teste Europa e teste Estados Unidos

A norma FMVSS 208 foi promulgada em 1972, pela Administração Nacional de Segurança de Tráfico nas Estradas (*National Highway Traffic Safety Administration* – NHTSA) para diminuir as mortes em trânsito nos Estados Unidos. Como parte de um crédito de U\$ 340.000,00, o NHTSA teve que estudar as diferenças entre as normas de proteção a impacto frontal ao ocupante dos Estados Unidos e da Europa, já que a partir de 2003 iria entrar a obrigatoriedade para os veículos produzidos nos países membros da Comunidade Européia, a norma de impacto frontal em barreira deformável, com 40% de sobreposição do veículo para uma possível harmonização das normas (NHTSA, 2010).

O estudo mostrou que o modelo americano de teste de impacto frontal com 100% de sobreposição, perpendicular, era mais vantajoso para verificar ferimentos na cabeça, tórax e no fêmur, enquanto o modelo de teste europeu de teste verificou ferimentos no pescoço e membros inferiores. Este fato se deu pela forma do teste, em que apenas 40% da área frontal do veículo dissipava a energia do impacto, aumentando assim a deformação no interior do veículo (NHTSA, 2010).

Em 1990, depois de verificar o aumento do número de mortes no trânsito foi criado o grupo de trabalho WG-11, com representantes da Europa, Austrália, Japão, Estados Unidos e Canadá, para tentar melhorar os critérios e testes de impacto. Depois de avaliar dados de impactos veiculares, este grupo definiu que precisariam de um teste que simulasse colisão frontal carro a carro a 60 km/h ou mais. Também foi concluído do estudo que na colisão a maioria das batidas foi de acidentes com sobreposição frontal baixa. Neste aspecto, se notou que o grau de intrusão de

deformação foi maior que a verificada nos testes usuais com 100% de sobreposição (NHTSA, 2010).

A proposta de velocidade de impacto de 60 km/h trouxe um problema para os veículos de classe B, já que isto representava a possibilidade de afetar vários aspectos do mercado destes veículos. Para solucionar isto, foi proposta uma barreira fixa deformável que serviria para se realizar a verificação e seria viável para os diferentes modelos de carro (NHTSA, 2010).

A nova proposta de teste de impacto frontal trouxe benefícios para avaliar a condição de intrusão da deformação no habitáculo do veículo, mas do ponto de vista do NHTSA, este modelo não encaminharia o problema mais grave que é a rápida desaceleração de veículo durante o impacto. Nos Estados Unidos há ainda o desuso de cinto de segurança dos passageiros, por isso também são feitos testes com os bonecos de testes sem o cinto de segurança, o que tornaria o teste de sobreposição de 40% inviável. No entanto, outro instituto independente que avalia a segurança dos carros, o Instituto de Seguros para Segurança nas Estradas (*Insurance Institute for Highway Safety – IIHS*), também dos Estados Unidos, adotou o teste Europeu como complemento do modelo americano, para realização dos seus estudos, pois houve a conclusão de que o teste de impacto frontal com 100% de sobreposição era um bom teste para o sistema de retenção (cinto de segurança e *Air Bag*), mas fraco em verificação de intrusão de deformação no habitáculo, enquanto o teste com sobreposição de 40% era um bom teste para a verificação de intrusão, porém fraco para a verificação de sistema de retenção (NHTSA, 2010).

O modelo de teste Europeu, de sobreposição também trouxe outros benefícios como a medição de ferimento nos membros mais baixos, na coluna e torção no pescoço, o que foi sugerido para inclusão no modelo de testes americano (NHTSA, 2010).

A tabela 5 abaixo mostra uma tabela com as principais diferenças de teste das leis americanas e européias.

Tabela 5 – Diferenças dos Testes de Impacto pelas Leis Americanas e Européias (NHTSA, 2010).

	FMVSS nº 208	Diretiva Européia 96/79 EC
Velocidade de Impacto (a)	48 km/h ou 30 mi/h	56 km/h ou 35 mi/h
Objeto de Impacto	Barreira fixa e rígida	Barreira fixa e deformável
Sobreposição Frontal do Veículo, com a Barreira de Impacto	Completa frontal	40% de sobreposição da largura do veículo, em linha direta com a face da barreira
Tipo de Manequim de Teste e Condições (b)	Sem sistema de retenção (cinto de segurança) e com sistema de retenção Modelo <i>Hybryd</i> III 50% masculino	Com sistema de retenção Modelo <i>Hybryd</i> III 50% masculino
Critérios de Ferimento (c)	Inclui os critérios de avaliação da cabeça, desaceleração do peito, deflexão do peito e fêmur (próximo) da parte inferior da perna.	Inclui os mesmos critérios de avaliação, com a adição do critério de viscosidade (V^*C), o pescoço, o joelho, a dobra da parte inferior da perna (tíbia), compressão do calcanhar e pé e intrusão do compartimento do passageiro.
(a) Teste da NCAP é feito a 56 km/h ou 35 mi/h; (b) O manequim de teste 50% masculino, ou de meio tamanho, representa a média dos adultos masculinos, como especificado para o grupo total desta idade; (c) Os criterios para a cabeça são 1000 HIC, desaceleração no peito é de 60g ,deflexão no peito é de 76 mm e o femur é de 10 000 N.		

Nos Estados Unidos, pelo tipo de frota veicular diversificada, o teste de 40% de sobreposição estaria mais apto a ser implementado para veículos com características de veículos mais globalizados como os modelos de veículos europeus e asiáticos (NHTSA, 2010). Isso se daria pelo fato da frota americana contar com camionetas e utilitários esportivos, maiores e mais pesados que os carros comuns (MOSTAFA et. al., 2008; SAUNDERS et. al., 2008). Para se ter um projeto apto ao critério de 40% de sobreposição no teste de impacto, a rigidez destas camionetas e utilitários esportivos seria aumentada, prejudicando os critérios de ferimento do teste de impacto frontal a 100%, pela diminuição da absorção da energia do impacto. Também, ao aumentar a rigidez destes veículos, no caso de uma colisão frontal com outro carro menor, as chances de proteção aos ocupantes deste carro menor seria diminuída pela alta rigidez destas camionetas e utilitários esportivos (CONROY et. al., 2008; NITTA et. al., 2007; MOSTAFA et. al., 2008; SAUNDERS et. al., 2008).

2.3 Revisão dos Estudos de Impacto e Segurança Veicular

Alguns autores já escreveram e publicaram estudos sobre o tema segurança veicular, principalmente referente à impacto frontal, na caracterização de na parte inferior

Em 1994 Planath-Skogsmo e Nilsson (1994) caracterizando as diferenças dos diferentes testes de impacto veicular, e qual o aspecto mais crítico que cada um dos modelos de teste verificava. Planath-Skogsmo e Nilsson (1994) verificaram que o teste de impacto frontal à 90º, com sobreposição de 100% e em barreira rígida indeformável é o que faz o veículo sofrer a maior desaceleração, enquanto que os testes em barreiras com sobreposição menores, entre 35 e 40%, são os que verificam melhor a segurança quanto à deformação do veículo em caso de impacto.

No ano seguinte, Hill, Frampton e Mackay (1995) estudaram os acidentes frontais de veículos na Inglaterra. No estudo feito, Hill, Frampton e Mackay (1995) estudaram os veículos que sofreram acidente frontal e correlacionaram a gravidade do ferimento dos ocupantes, que utilizavam cinto de segurança, com uma velocidade de colisão em barreira rígida, com uma sobreposição e ângulo do impacto, verificado nos carros. Visto que os carros analisados eram pequenos, com massas inferiores a 1600 kg, e que os impactos, mesmo atingindo a área frontal do veículo inteira, não tinha uma distribuição igualitária da força e deformação pela região frontal, mostrou que para todos os efeitos, um teste de impacto em barreira deformável, com sobreposição inferior a 100%, poderia simular uma colisão frontal melhor que um impacto em barreira rígida deformável, com sobreposição total da largura do veículo do veículo. Também, levantou-se que nos testes de impacto em barreira rígida, havia baixa deformação da região dos pés dos ocupantes, o que poderia ser melhorado no teste com sobreposição parcial.

Em 1998, Buzeman, Viano e Lösund (1998), tentaram identificar qual o tipo de impacto veicular era o mais perigoso, comparando-se alta intrusão da deformação no veículo e impacto frontal com sobreposição alta e baixa. Para este estudo, eles utilizaram dados da Volvo, de análise de acidentes. Neste estudo, eles mostraram que a deformação é o maior risco de ferimento dos passageiros, mais até que a desaceleração, para os modelos de veículo menos rígidos, em acidentes acima de 20 km/h. Também para esta velocidade, foi notado que a maior freqüência de

ferimentos ocorria na cabeça e no tronco, porém isto estaria mudando para a região dos membros inferiores, conforme foram adotando medidas para proteção da cabeça e tronco, ao longo dos anos mais recentes. Neste caso, a deformação estaria de propagando pela região dos membros inferiores dos ocupantes do veículo. A deformação, acompanhada da intrusão na região do compartimento dos passageiros, estaria mais freqüente em impactos frontais com 2/3 de sobreposição do veículo, porém, são nos impactos com 1/3 de sobreposição, onde elas trouxeram maior risco. Desta forma, os autores acreditam que o teste de impacto frontal, para a Europa, proposto na época, com 40% de sobreposição da largura, endereçaria a freqüência e o risco dos impactos de 2/3 e 1/3 de sobreposição.

Alguns anos mais tarde, em 2006, Laituri, Henry, Sullivan and Prasad (2006), mostraram que as pessoas que utilizam o cinto de segurança têm mais chances de terem ferimentos moderados (fratura do calcaneo, por exemplo) e ferimentos graves (quebra do osso da pélvis, por exemplo) na parte inferior do corpo, do que na cabeça, principalmente em pessoas de biótipo mais frágil, como mulheres e idosos. Os dados desta análise foram coletados do Centro Nacional de Estatísticas e Análises (*National Center of Statistics and Analysis – NASS*) da NHTSA, dos Estados Unidos, entre 1993 e 2002. Embora a deformação na estrutura dos veículos, na região dos pés do motorista, é maior conforme maior é a velocidade, apenas 10% do total de ferimentos moderados e graves, se originaram de velocidades superiores a 40 km/h.

Outros autores também escreveram sobre o assunto de impacto frontal veicular e suas características. Estes autores serão citados no capítulo 3.

3 ESTUDO PARA ADEQUAÇÃO DAS NORMAS AO MERCADO BRASILEIRO

Neste capítulo será discutida a adequação das novas normas de impacto frontal veicular, ABNT NBR 15300-1/2/-3, em relação aos tipos de carro mais usados no mercado brasileiro

3.1 Laboratórios de testes de impacto independentes

Em alguns mercados que serão discutidos a seguir, existem equipes de trabalho que realizam testes de impacto veicular, para divulgação e estudos científicos, para a melhoria das normas de teste e conscientização das populações, para os veículos menos seguros.

As discussões, que seguirão para as conclusões, são baseadas nos dados levantados por estas equipes de trabalho e direcionadas à realidade do mercado nacional.

3.1.1 NCAP

A Administração Nacional de Segurança de Tráfego nas Rodovias (*National Highway Traffic Safety Administration – NHTSA*) dos Estados Unidos é responsável por diminuir as perdas econômicas, de vidas e ferimentos ocorridos em acidentes de trânsito. Uma das formas que a NHTSA trabalha para conseguir estes objetivos é a divulgação de informação para os consumidores, através do Programa de Avaliação de Novos Veículos (*New Car Assessment Program – NCAP*), em vigor desde 1978 (*Department of Transportation, 2008*) e que vem realizando e publicando estes testes desde esta data (SAMAHY *et. al.*, 2010). Este programa foi criado como resposta ao Título II, Ato da Informação de Veículos Automotores e Redução de Custos, de 1972 (*Department of Transportation, 2008*).

O NCAP promove testes diversos de impacto, tanto traseiro como lateral e de capotamento, que são divulgados aos consumidores para que eles possam escolher melhor um veículo novo com relação à segurança em caso de acidente. Com isso, os fabricantes também elevam a qualidade de segurança dos ocupantes do veículo além do mínimo exigido por lei (*Department of Transportation, 2008*).

O teste de impacto frontal no NCAP segue o mesmo modelo de teste da lei FMVSS 208, incluindo as medições de ferimento, porém com as diferenças:

- O teste é realizado com a velocidade de 56 km/h, ao invés de 48 km/h;
- os manequins de teste usam cintos de segurança;
- no assento do passageiro é colocado um manequim do modelo *Hybrid III*, na versão representante de 5% da população feminina, pois foi avaliado que esta construção física está mais sujeita a ferimentos e que são as mulheres as que mais ficam no assento do passageiro;
- o critério de ferimento no peito é avaliado pela deformação no peito, ao invés da desaceleração no local (*Department of Transportation, 2008*).

3.1.2 IIHS

O Instituto dos Seguros para a Segurança nas Estradas (*Insurance Institute for Highway Safety – IIHS*) é um instituto sem fins lucrativos, independente, científico e uma organização educacional dedicada a diminuir as perdas de vida e ferimentos nas estradas americanas (*Insurance Institute for Highway Safety, 2010*), mantido por diversas companhias de seguro americanas (*Loftis et. al., 2010*). O IIHS também realiza testes de impacto, frontal, lateral e traseiro, e assim com o NCAP, divulga seus resultados para o público (*Insurance Institute for Highway Safety, 2010*). Estes testes são realizados e publicados desde 1995 (*SAMAHA et. al. 2010*).

O teste de impacto frontal que o IIHS utiliza é um teste de impacto equivalente ao teste de impacto modelo europeu, ECE 94 (*SAUNDERS et. al., 2008*), de barreira em sobreposição de 40% e deformável. Também neste teste impacto, os critérios de ferimentos medidos nos manequins de teste, são equivalentes aos medidos no ECE 94, incluindo o critério de ferimento nas partes mais baixas das pernas. Neste teste, porém, a velocidade de impacto é de 64 km/h (*Insurance Institute for Highway*

Safety, 2008). Também, a posição do motorista é diferenciada, por usar o procedimento de sentar UMTRI ATD, que se baseia em uma pesquisa de posição preferida de voluntários (SAMAHÀ *et. al.*, 2010 *apud* IIHS, 2009 & MANARY *et. al.*, 1998). Esta posição de assento é tipicamente mais para trás que a posição intermediária do curso do assento do NCAP (SAMAHÀ *et. al.*, 2010).

3.1.3 Euro NCAP

Em 1997, a Europa também montou seu programa de avaliação de novos veículos. O programa foi montado pelo Laboratório de Pesquisas do Trânsito, do Departamento de Transportes Britânico (*European New Car Assessment Program*, 2010a). Depois, outros governos se juntaram ao programa, França, Alemanha, Suécia, Países Baixos, Luxemburgo e Catalunha, na Espanha. Outros grupos de consumidores são membros através da Pesquisa Internacional de Consumo e Teste (*European New Car Assessment Program*, 2010a). Também, clubes automotores são representados pela Federação Internacional de Automobilismo, FIA, que também é membro, e também são representados pelo clube automotor alemão ADAC. A Comissão Européia é um membro observador, que também provém o seu suporte político ao programa (*European New Car Assessment Program*, 2010a).

O Euro NCAP leva ao consumidor informações comparativas de segurança veicular (*European New Car Assessment Program*, 2010a). Com isso também acaba promovendo o incentivo aos fabricantes para melhorar a segurança em seus produtos além do mínimo exigido por lei, sendo este um de seus objetivos (*European New Car Assessment Program*, 2010b; c). As informações são realísticas e com uma avaliação independente sobre a segurança dos veículos mais vendidos da Europa (*European New Car Assessment Program*, 2010a; b).

O teste de impacto frontal que o Euro NCAP realiza para suas avaliações é o mesmo do ECE 94, incluindo as medições de ferimentos, porém com velocidade de 64 km/h (*European New Car Assessment Program*, 2010d).

3.1.4 ANCAP

O Programa de Avaliação de Veículos Novos Austrasiático (*Australasian New Car Assessment Program*, ANCAP) iniciou seus trabalhos em 1993 e até hoje já testou mais de 300 veículos (*Australasian New Car Assessment Program*, 2010). Seus membros incluem os governos da Austrália e Nova Zelândia, clubes de automóveis da Austrália e Nova Zelândia e a Fundação da Federação Internacional de Automobilismo, FIA (*Australasian New Car Assessment Program*, 2010). Seus trabalhos incluem advogar a favor da melhora do sistema de avaliação da segurança dos veículos; lutar pela diminuição da diferença entre o modelo de avaliação do ANCAP em relação às normas vigentes; realizar testes de impacto e publicar seus resultados; continuar os trabalhos para melhorar a segurança nas estradas (*Australasian New Car Assessment Program*, 2010).

O ANCAP realiza teste de impacto frontal, em sobreposição com barreira deformável, teste de impacto lateral, teste de atropelamento e teste de impacto lateral em poste. O teste de impacto frontal, realizado pelo ANCAP é semelhante ao realizado pelo Euro NCAP, com o veículo a 64 km/h, em sobreposição de 40%, com barreira deformável (*Australasian New Car Assessment Program*, 2010).

3.1.5 JNCAP

O Programa de Avaliação de Novos Veículos Japonês (*Japan New Car Assessment Program*, JNCAP) é liderado pela Agência Nacional para Segurança Automotiva & Ajuda às Vítimas (*National Agency for Automotive Safety & Victim's Aid*, NASVA) (*Japan New Car Assessment Program*, 2010a). E JNCAP realiza as avaliações de segurança veicular com teste de impacto frontal com 100% de sobreposição e barreira rígida, impacto frontal com 40% de sobreposição e barreira deformável, impacto lateral e atropelamento de pedestre (*Japan New Car Assessment Program*, 2010b). O Grupo de Trabalho Avançado de Impacto Frontal (Advanced Frontal Impact Working Group), das Atividades Internacionais de Harmonização de Pesquisa (IHRA – *International Harmonized Research Activities*)

(LOMONACO, 2001 *apud* MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003) propuseram que ambos os testes frontais fossem requisitados para os procedimentos de teste internacionalmente aceitos para se conseguir proteção ao ocupante. Embora muitos países não usem os dois procedimentos de teste frontal (LOMONACO, 2001; HOLLOWELL, 1999 *apud* MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003), apenas o JNCAP conduz os dois testes (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003).

O JNCAP realiza o teste de impacto de sobreposição de 100% em barreira rígida desde 1996 e o teste de impacto frontal em barreira deformável com sobreposição de 40% desde 2000 (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003). No teste de impacto frontal com barreira rígida e de 100% de sobreposição, o impacto é feito a 55 km/h e são medidos os mesmos itens do teste exigido por lei. No teste de impacto frontal com barreira deformável e sobreposição de 40%, o teste é feito da mesma forma que o realizado pelo Euro NCAP, com velocidade de 64 km/h (*Japan New Car Assessment Program*, 2010b; MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003).

O JNCAP explica que o teste de impacto frontal em barreira rígida, com sobreposição de 100%, tem a função de testar a eficiência dos sistemas de cinto de segurança e *Air Bag*, enquanto que o teste de impacto frontal com sobreposição de 40% e barreira deformável tem a função de testar os ferimentos nos ocupantes provocados pela deformação do veículo (*Japan New Car Assessment Program*, 2010b).

3.1.6 Latin NCAP

O lançamento do *Latin NCAP* (NCAP Latino - *Latin New Car Assessment Program*) aconteceu em 18 de Outubro de 2010, simultaneamente em Montevidéu, no Uruguai, e em São Paulo. O lançamento do *Latin NCAP* em São Paulo foi liberado pela associação de consumidores Proteste (*Latin NCAP*, 2010a).

Assim como os demais NCAPs, o *Latin NCAP* (NCAP Latino) tem como visão veículos mais seguros. O processo utilizado é fazer com que consumidores através da informação, procurem, cada vez mais, veículos mais seguros, fazendo com que as montadoras também disponibilizem veículos mais seguros (*Latin NCAP*, 2010b),

auxiliada também pela imagem que os resultados dos testes possam trazer ao produto, ou a empresa, positivos ou negativos (*Latin NCAP*, 2010c).

O *Latin NCAP* é o primeiro programa de teste de impacto veicular para a América Latina e o Caribe, sua região de abrangência (*Latin NCAP*, 2010a). A montagem do *Latin NCAP* é uma união de forças de diferentes organizações: a Federação Internacional do Automóvel (FIA - *Federation Internationale de l'Automobile*), a Fundação FIA para o Automóvel & Sociedade, a Pesquisa e Teste Internacional do Consumidor (ICRT – *International Consumer Research and Testing*), a Fundação Memorial Gonzalo Rodriguez (GRMF - *Gonzalo Rodriguez Memorial Foundation*) e o Banco Inter-Americano de Desenvolvimento (IDB - *Inter-American Development Bank*) (*Latin NCAP*, 2010a).

Até 2011, o único modelo de teste que a *Latin NCAP* faz é o teste de impacto frontal, conforme a Euro NCAP. Porém há a intenção da realização de mais modelos de teste, como os testes de impacto lateral, porém sem data ainda (*Latin NCAP*, 2010c).

3.1.7 Testes de impacto frontal por mercado e por organização

Como os critérios de verificação diferem de país para país, uma forma de analisar as diferenças entre os critérios de avaliação que cada país e suas respectivas normas utilizam, foi montada a [tabela 6](#) onde é possível verificar diversos testes de impacto frontal feitos em alguns dos principais mercados, para comparação das normas, entre si. Também, nesta mesma tabela, foram adicionados os testes destes países, realizados pelos laboratórios independentes, para comparação com os testes oficiais de homologação, também de cada país.

Tabela 6 – Requisitos de Teste de Impacto Frontal, de Diferentes Mercados e Aplicações

País	Requisito	Obrigatoriedade	Velocidade do Impacto	Tipo de Barreira de Impacto	Sobreposição do Impacto	Ângulo do Impacto	Manequim	Cinto de Segurança	Deslocamento do Volante na Vertical	
Brasil	CONTRAN 463	Lei	48km/h	Rígida	100%	90°	-	-	-	
	CONTRAN 221 100% Sobreposição		48km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	-	
	CONTRAN 221 40% Sobreposição		56km/h	Deformável	40%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	80mm	
	Latin NCAP	Independente	64km/h	Deformável	40%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	✓	
Estados Unidos	FMVSS 204	Lei	48km/h	Rígida	100%	90°	-	-	-	
	FMVSS 208		56km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	-	
			48km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 5 Feminino	Com Uso	-	
			48km/h	Deformável	40%	90°	Percentil 5 Feminino	Com Uso	-	
			40km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 50 Masculino	Sem uso	-	
			40km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 5 Feminino	Sem uso	-	
			40km/h	Rígida	100%	30° Pela Direita	Percentil 50 Masculino	Sem uso	-	
			40km/h	Rígida	100%	30° Pela Esquerda	Percentil 50 Masculino	Sem uso	-	
	NHTSA / NCAP	Independente	56km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 50 Masculino, na posição do motorista Percentil 5 Feminino, na posição do passageiro	Com Uso	-	
	IIHS		64km/h	Deformável	40%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	✓	
Europa	ECE 12-03 / 74/297/EEC	Lei	48km/h	Rígida	100%	90°	-	-	127mm	
	ECE 94 / 96/79/EC		56km/h	Deformável	40%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	80mm	
	Euro NCAP	Independente	64km/h	Deformável	40%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	✓	
Austrália	ADR 10/02	Lei	48km/h	Rígida	100%	90°	-	-	127mm	
	ADR 69/00		48km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	-	
	ADR 73/00		56km/h	Deformável	40%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	80mm	
	ANCAP	Independente	64km/h	Deformável	40%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	✓	
Japão	Artigo 11	Lei	48km/h	Rígida	100%	90°	-	-	127mm	
	Artigo 18		50km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	-	
			56km/h	Deformável	40%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	80mm	
	JNCAP	Independente	55km/h	Rígida	100%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	-	
			64km/h	Deformável	40%	90°	Percentil 50 Masculino	Com Uso	✓	

País	Requisito	Deslocamento do Volante na Horizontal	Critérios de Ferimento						
			HIC / HPC	Aceleração Resultante na Cabeça	Nij / NIC	Fzc Compressão no Pescoco	Fzc Tensão no Pescoco	Força Cortante no Pescoco	Momento Fletor Pescoco
Brasil	CONTRAN 463	127mm	-	-	-	-	-	-	-
	CONTRAN 221 100% Sobreposição	-	1000 em intervalo de 36ms	-	1,0	4000N	4170N	-	-
	CONTRAN 221 40% Sobreposição	100mm	1000 em intervalo de 36ms	80g em 3ms	-	-	-	Gráfico	Gráfico
	Latin NCAP	√	√	√	-	-	-	√	√
Estados Unidos	FMVSS 204	127mm	-	-	-	-	-	-	-
	FMVSS 208	-	700 em intervalo de 15ms	-	1,0	4000N	4170N	-	-
		-	700 em intervalo de 15ms	-	1,0	2520N	2620N	-	-
		-	700 em intervalo de 15ms	-	1,0	2520N	2620N	-	-
		-	700 em intervalo de 15ms	-	1,0	4000N	4170N	-	-
		-	700 em intervalo de 15ms	-	1,0	2520N	2620N	-	-
		-	700 em intervalo de 15ms	-	1,0	4000N	4170N	-	-
		-	700 em intervalo de 15ms	-	1,0	4000N	4170N	-	-
	NHTSA / NCAP	-	√	-	√	√	√	-	-
	IIHS	√	√	√	-	-	-	√	√
Europa	ECE 12-03 / 74/297/EEC	127mm	-	-	-	-	-	-	-
	ECE 94 / 96/79/EC	100mm	1000 em intervalo de 36ms	80g em 3ms	-	-	-	Gráfico	Gráfico
	Euro NCAP	√	√	√	-	-	-	√	√
Austrália	ADR 10/02	127mm	-	-	-	-	-	-	-
	ADR 69/00	-	1000 em intervalo de 36ms e 700 em intervalo de 15ms	-	-	-	3300N	-	-
	ADR 73/00	100mm	1000 em intervalo de 36ms	80g em 3ms	-	-	-	Gráfico	Gráfico
	ANCAP	√	√	√	-	-	-	√	√
Japão	Artigo 11	127mm	-	-	-	-	-	-	-
	Artigo 18	-	700 em intervalo de 15ms	-	1,0	4000N	4170N	-	-
		100mm	1000 em intervalo de 36ms	80g em 3ms	-	-	-	Gráfico	Gráfico
	JNCAP	√	√	√	-	-	-	√	√

País	Requisito	Critérios de Ferimento							
		Momento Extensor Pescoço	ThCC / Deflexão no Tórax	Aceleração no Tórax	FFC / Compressão no Fêmur	TCFC Fz	TCFC - Movimento Relativo	TI	V*
Brasil	CONTRAN 463	-	-	-	-	-	-	-	-
	CONTRAN 221 100% Sobreposição	-	76mm	60g em intervalo de 3ms	10000N	-	-	-	-
	CONTRAN 221 40% Sobreposição	57Nm	50mm	-	Gráfico	8kN	15mm	1,3	1,0m/s
	Latin NCAP	√	√	-	√	√	√	√	√
Estados Unidos	FMVSS 204	-	-	-	-	-	-	-	-
	FMVSS 208	-	63mm	60g em intervalo de 3ms	10000N	-	-	-	-
		-	52mm	60g em intervalo de 3ms	6805N	-	-	-	-
		-	52mm	60g em intervalo de 3ms	6805N	-	-	-	-
		-	63mm	60g em intervalo de 3ms	10000N	-	-	-	-
		-	52mm	60g em intervalo de 3ms	6805N	-	-	-	-
		-	63mm	60g em intervalo de 3ms	10000N	-	-	-	-
		-	63mm	60g em intervalo de 3ms	10000N	-	-	-	-
	NHTSA / NCAP	-	√	-	√	-	-	-	-
	IIHS	√	√	-	√	√	√	√	√
Europa	ECE 12-03 / 74/297/EEC	-	-	-	-	-	-	-	-
	ECE 94 / 96/79/EC	57Nm	50mm	-	Gráfico	8kN	15mm	1,3	1,0m/s
	Euro NCAP	√	√	-	√	√	√	√	√
Austrália	ADR 10/02	-	-	-	-	-	-	-	-
	ADR 69/00	-	76,2mm	60g em intervalo de 3ms	10000N	-	-	-	-
	ADR 73/00	57Nm	50mm	-	Gráfico	8kN	15mm	1,3	1,0m/s
	ANCAP	√	√	-	√	√	√	√	√
Japão	Artigo 11	-	-	-	-	-	-	-	-
	Artigo 18	-	76mm	60g em intervalo de 3ms	10000N	-	-	-	-
		57Nm	50mm	-	Gráfico	8kN	15mm	1,3	1,0m/s
	JNCAP	-	√	√	√	-	-	-	-
		√	√	-	√	√	√	√	√

Com os dados da tabela, é possível verificar, que o teste de impacto veicular frontal, com barreira deformável e sobreposição de 40% é utilizado como teste oficial de homologação em todos os países da tabela, com exceção de Brasil, por ser opcional e dos Estados Unidos, onde o teste oficial é o de impacto frontal em barreira rígida, com sobreposição de 100%. Da mesma forma, todos os países utilizam o teste de impacto frontal veicular frontal em barreira deformável, com sobreposição de 40%, em alguma de suas entidades de teste independente, o que tenderia mostrar que este teste de impacto, com sobreposição de 40%, é um teste mais crítico para a proteção do ocupante.

3.2 Diferença dos testes de impacto entre sobreposição de 100% e sobreposição de 40% com barreira de impacto deformável

Os testes de impacto frontal, das versões em teste com barreira de impacto rígida e sobreposição de 100% e com barreira impacto deformável e sobreposição de 40%, possuem características próprias e diferentes em relação à resposta em ferimento no manequim de teste.

Esta seção irá levantar e revisar as diferenças e impactos na resposta de ferimento ao manequim de teste.

3.2.1 Diferenças dos testes de impacto frontal, em aceleração, deformação e força de impacto

Ingrid Planath-Skogsmo e Richard Nilsson (1994) escreveram sobre uma comparação entre os testes de impacto frontal em uso no mundo, incluindo um teste agressivo da Volvo, que é realizado com impacto em sobreposição de 35%, em barreira rígida, a 65 km/h, chamado de SPOC. Eles descrevem que os acidentes frontais são o principal tipo de acidente e que desde os anos de 1960, leis de segurança veicular têm sido feitas para diminuir as perdas humanas decorrentes destes acidentes.

O teste de impacto frontal com 100% de sobreposição teve a complementação de outros modelos de testes de impacto, com sobreposição menor, para se avaliar a reação do veículo sobre cargas assimétricas em sua estrutura, além da avaliação da quantidade de intrusão no compartimento de passageiros com a deformação do veículo.

A melhora do projeto dos veículos em relação à segurança do ocupante, como cinto de segurança, projeto de estrutura dos veículos, além das leis de uso obrigatório do cinto de segurança, aumentaram as chances de se sobreviver e/ou não se ferir em um acidente. No caso de acidentes com fatalidades, o uso de cinto de segurança de três pontos tem uma efetividade por volta de 40%, enquanto o uso de cinto de segurança com *Air Bag* tem uma efetividade em 45-55% dos acidentes (EVANS, 1991 *apud* PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994).

A Volvo, com sua Comissão de Acidentes, investigou por volta de 25 anos, os acidentes com veículos Volvo, na Suécia (PLANATH-SKOGSMO *et. al.*, 1993 *apud* PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994). Com isso, as pesquisas de caso de acidentes reais foram feitas em um banco de dados detalhados com mais de 25000 acidentes envolvendo mais de 40000 pessoas (PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994). Comparando a frequência de acidentes de impacto frontal com outros tipos de acidentes automobilísticos, a Volvo concorda com outros autores que a colisão frontal é a forma mais comum, sendo estes responsáveis por 35% dos casos de ferimentos nas partes mais inferiores das pernas (SCHEUNERT *et. al.*, 1992; LOWNE, 1994; ISO/TC22/SC10/WG1 *apud* PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994).

A Volvo se utilizou dos impactos frontais para o trabalho pioneiro de desenvolvimento e instalação do cinto de segurança. Nas últimas 2,5 décadas os *Air Bag's* são utilizados para complementar a proteção dos cintos de segurança, montados em veículos com suas carrocerias desenvolvidas para otimizar a proteção ao ocupante (PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994).

Ao se considerarem as leis que protegem os ocupantes, até então, de acidentes frontais, elas se utilizavam de testes de impacto, com barreira plana e rígida, com colisão entre 0° que e 30°. Também, outras especificações avaliam o desempenho de outros componentes, como intrusão do sistema de direção (PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994).

Na época em que o artigo de Planath-Skogsmo e Nilsson (1994) foi escrito, na Europa se discutia a implementação de um modelo de teste de impacto com manequins de testes, ao invés do teste de deslocamento de coluna de direção, norma ECE R12 (PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994). Neste mesmo período, outros países como Japão e Austrália já possuíam testes com manequins de testes já instrumentados, além dos Estados Unidos.

As leis de regulamentação de segurança veicular melhoraram o desempenho em proteção ao ocupante dos veículos, porém, isso representa apenas uma porção dos tipos de acidentes frontais reais ocorridos e reconhecidos pelos fabricantes de veículos que também desenvolvem formas de teste, tendo como base, as informações que cada uma dispõe, aumentando assim as formas de teste de segurança veicular (PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994). Desta forma, a Volvo criou e apresentou, em 1993, a Colisão de Sobreposição Parcial Severa (*Severe Partial Overlap Collision – SPOC*). O teste acontece com o impacto a uma sobreposição de 35% na barreira de impacto rígida, a 65 km/h. Este teste é feito para se verificar possíveis riscos decorrentes de intrusão no compartimento dos passageiros. O teste com barreira de impacto de 100% de sobreposição rígida é utilizado para testar e verificar os sistemas de cinto de segurança e *Air Bag*, como complemento (PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994). As diferentes formas de teste de impacto, do modelo SPOC da Volvo, o inclinado em 30°, com fixação antiescorreamento (ASD – *Antislide Barrier*), o modelo de teste europeu, com sobreposição de 40% e impacto em barreira deformável, e o modelo da NCAP Americana, em barreira rígida, com suas respectivas velocidades, podem ser observadas na figura B1 do anexo B.

Neste estudo de Planath-Skogsmo e Nilsson (1994), os veículos foram devidamente instrumentados para mostrar a aceleração em tempo real. Com isso, foi levantada a energia absorvida nestes diferentes testes e colocadas no gráfico da figura 24.

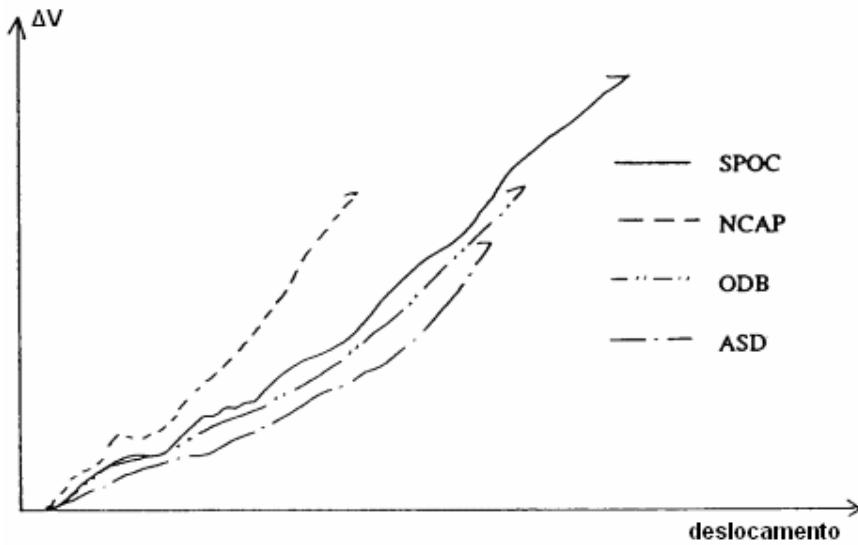


Figura 24 – Relação de deslocamento para os diferentes métodos de teste de impacto frontal
(PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994)

No gráfico é possível observar pela diferença da velocidade, Δv e pela distância percorrida pelo veículo durante o impacto, que o modelo de teste do NCAP americano é o que absorve energia mais rápido, como mostrado pela curva mais inclinada. Em seguida, temos o modelo de teste SPOC, da Volvo, seguido de perto pelo modelo europeu de teste (ODB), que conclusivamente pelos autores Planath-Skogsmo e Nilsson (1994) tiveram suas diferenças apenas referentes à barreira de impacto deformável do modelo de teste europeu. O modelo de teste com barreira de impacto de 30° (ASD) foi a que teve a absorção de energia mais lenta, porém com um início de absorção muito baixo, quando apenas uma parte do veículo está sofrendo o impacto e depois com um aumento da inclinação da curva, quando uma maior parte do veículo está em contato com a barreira (PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994).

Outro método de verificação é examinar a deformação estrutural do veículo. Planath-Skogsmo e Nilsson (1994) observaram que o modelo de teste que teve a maior deformação foi o modelo SPOC, seguido do modelo ASD, porém este tem uma deformação mais voltada para a lateral, ao invés de uma deformação contra o habitáculo do motorista. O modelo de teste europeu ou OBD teve sua deformação menos agressiva, por causa da barreira deformável do modelo de teste. O modelo NCAP americano teve uma deformação inferior aos outros testes devido à maior distribuição da energia do impacto pelo veículo. O modelo de 30° teve também uma

baixa relação de deformação versus movimentação durante a batida, devido a sua movimentação lateral, relativa à inclinação da barreira. O modelo de teste europeu, ou OBD, teve a sua relação de deformação versus movimentação durante o teste, também baixa, devido à absorção de energia pela barreira deformável que segundo os autores Planath-Skogsmo e Nilsson (1994) foi responsável pela absorção de 30% da energia do impacto, equivalendo a um impacto de 29 a 30 km/h em uma barreira de sobreposição de 40% (PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994). O gráfico com as deformações relativas, com o modelo SPOC em valor de 100%, pode ser observada na figura B2 do anexo B.

Durante o teste de impacto, os manequins de teste são influenciados por dois fatores dominantes: as forças de desaceleração e a intrusão da deformação no veículo (PLANATH *et. al.*, 1993 *apud* PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994). Para o fator de intrusão, os valores foram comparados entre os quatro modelos de teste, também usando como comparação o modelo de teste SPOC como valor de 100%, sendo que as intrusões da coluna de direção e da área dos pés dos ocupantes foram escolhidas por serem as mais significativas para ferimento dos ocupantes (PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994). Os valores do fator de intrusão, comparados, estão ilustrados na figura B3 do anexo B.

O modelo de veículo usado nos testes, Volvo 850, teve a intrusão da coluna de direção e a intrusão na região dos pés maiores nos modelos de teste SPOC e no modelo de teste NCAP (PLANATH-SKOGSMO; NILSSON, 1994).

Para a comparação da severidade do pulso de desaceleração dos impactos de teste, os autores Planath-Skogsmo e Nilsson (1994) usaram um modelo linear massa / mola simples, relativo à deformação do peito do manequim de teste, com o ponto inicial já deslocado, configurando o aperto do sistema de retenção ou simplesmente o cinto de segurança, usando como entrada da função a desaceleração do peito do manequim. Com estes resultados, os autores Planath-Skogsmo e Nilsson (1994) puderam calcular o Índice de Severidade do Pulso (PSI – *Pulse Severity Index*) pela desaceleração no peito do manequim. O gráfico do modelo massa / mola linear, e ilustrado na figura B4 do anexo B.

Com os valores de PSI, Planath-Skogsmo e Nilsson (1994) observaram que o modelo de teste NCAP é o mais agressivo em pulso de desaceleração, justamente por ter a maior área de contato com a barreira de impacto e maior distribuição da energia de impacto. Porém os autores Planath-Skogsmo e Nilsson (1994) também

dizem que não é possível afirmar qual modelo de teste é, no geral, o mais severo, por não ter ainda qual a relação do veículo, de severidade de deformação versus desaceleração, embora o alto PSI já possa afirmar que o teste do modelo NCAP já é o mais indicado para análise e verificação do sistema de retenção dos ocupantes, ou cinto de segurança e *Air Bags*. A ilustração do gráfico do PSI, dos modelos de teste de impacto, pode ser observada na figura B5 do anexo B, tomando como o teste do modelo NCAP como valor de 100%.

3.2.2 Resultados em teste de impacto com barreira rígida e 100% de sobreposição e com barreira deformável com sobreposição de 40%

Com análises mais atuais e trabalhando com dados de vários veículos, Mizuno; Wani e Yonezawa (2003) analisaram a relação entre os testes de impacto frontal, com 100% de sobreposição e com 40% de sobreposição com barreira deformável. Os resultados foram tirados de análises feitas pela JNCAP, de 26 testes realizados em 2000, que utilizam ambos os testes no critério de avaliação de impacto frontal dos veículos (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003).

Para os dois tipos de testes, eles coletaram os dados da desaceleração do veículo, da deformação (a partir da segunda integral da aceleração), do HIC, da desaceleração do peito do manequim de teste, da força no fêmur e do índice da tíbia (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003).

No teste de sobreposição de 100%, as desacelerações máximas dos veículos pequenos foram de 300 á 450m/s² com duração de 0,075 até 0,110s. Já no teste de sobreposição de 40%, as desacelerações máximas foram de 250 á 330m/s², enquanto a duração dos testes variou de 0,120 á 0,150s, muito maior que no teste com sobreposição de 100% (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003). Com estes resultados se confirma que o teste da NCAP é o que promove a maior desaceleração do veículo. Os gráficos dos valores levantados para a desaceleração do veículo, para o teste de sobreposição 100% e o teste de sobreposição 40% para dez carros pequenos, podem ser verificados nas figuras C1 e C2, respectivamente, do anexo C.

Para a verificação das deformações, para diferentes tipos de veículo, as deformações máximas foram entre 0,5m e 0,6m para o teste de sobreposição de 100%. Neste mesmo teste, a força de impacto inicial máxima foi de uma minivan que teve sua força de deformação inicial de 400 kN. Depois do início da deformação inicial, as forças de deformação chegaram a 350 kN para um mini carro, 450 kN para um carro pequeno, 350 kN para um carro médio e 650kN para um carro grande (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003). Os gráficos das deformações média dos veículos para o teste de sobreposição 100% e para o teste de sobreposição 40%, para diferentes tipos de veículo são ilustrados nas figuras C3 e C4 do anexo C.

No teste com sobreposição de 40%, as curvas de força-deslocamento são muito similares, pois são as somas da deformação dos veículos com a barreira deformável. Neste teste foi medida a força na barreira de impacto, que tem por objetivo analisar, em uma batida carro a carro, a rigidez do veículo e sua distribuição (O'REILLY, 2001 *apud* MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003). No estudo, embora houvesse carro com força na barreira de impacto de 160 kN, ficou demonstrado que a intrusão da deformação nesse veículo foi alta. Isso significa que a resistência do compartimento de passageiros foi insuficiente e então a força de reação foi baixa (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003). O gráfico da relação entre massa do veículo e força máxima da barreira de impacto é ilustrado na figura C5 do anexo C.

No estudo de comparação, Mizuno; Wani e Yonezawa (2003) levantaram os valores de HIC, desaceleração no peito dos manequins de teste, força do fêmur e índice da tíbia nos dois modelos de teste, com sobreposição de 100% e no teste com sobreposição de 40%. Embora os testes de impacto em barreira com sobreposição de 100% demonstrarem que os critérios de ferimento, como o HIC e a desaceleração do peito diminuam conforme se aumenta a deformação dos veículos, isso mostra que outros artifícios dos veículos estavam funcionando, como os sistemas de retenção. Também, o HIC e a desaceleração do peito tendem a diminuir se for maior durante a batida, o máximo deslocamento. Da mesma forma, a força no fêmur e o critério da tíbia tendem a aumentar, conforme a intrusão/deformação do veículo aumenta (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003). Os gráficos dos valores de HIC, dos testes de 100% e de 40% de sobreposição, para diferentes tipos de veículo, são ilustrados nas figuras C6 e C7, respectivamente, do anexo C. Os gráficos dos valores da desaceleração do peito dos manequins de teste, para diferentes tipos de veículo, dos testes de 100% e de 40% de sobreposição, são

ilustrados nas figuras C8 e C9, respectivamente, do anexo C. Os gráficos dos valores da força no fêmur, dos testes de 100% e de 40% de sobreposição, para diferentes tipos de veículo, são ilustrados nas figuras C10 e C11, respectivamente, do anexo C. Os gráficos dos valores do índice da tibia, dos testes de 100% e de 40% de sobreposição, para diferentes tipos de veículo, são ilustrados nas figuras C12 e C13, respectivamente, do anexo C.

Mizuno; Wani e Yonezawa (2003) fazem em seu artigo, uma relação de pontuação, conforme a JNCAP, para os diferentes modelos, para os testes de impacto frontal com sobreposição de 100% e 40%. Com esta pontuação é possível ver que os mini carros e os pequenos carros tendem a atender mais os critérios do impacto de sobreposição de 100% do que os critérios do impacto de sobreposição de 40%. Esta relação, além de demonstrar a necessidade de se avaliar os veículos pelos dois testes, também mostra que garantir o bom comportamento no teste de sobreposição de 40% é mais difícil para os pequenos carros (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003). Esta relação de pontuação é ilustrada na figura C14 do anexo C.

3.2.3 Aumento da rigidez, na deformação de veículos submetidos ao teste de impacto frontal com sobreposição de 40%

Nos Estados Unidos, Samaha *et. al.* (2010) estudaram dois modelos equivalentes, muito populares, vendidos no mercado, quanto ao aumento da rigidez da estrutura do veículo ao longo dos anos, para atender os testes de impacto frontal em barreira rígida com sobreposição de 100%, pela NCAP/NHTSA, e teste de impacto frontal em barreira deformável, com sobreposição de 40%, pelo IIHS.

Samaha *et. al.* (2010) analisaram os trabalhos prévios de Swanson *et. al.* (2003) que afirmou que os veículos tiveram suas rigidezes estruturais aumentadas entre 1982 e 2001. Esta afirmação de Swanson *et. al.* (2003) se deu baseada em medidas feitas nos testes de impacto frontal da NCAP. Também, em um trabalho mais recente, Samaha *et. al.* (2010) analisaram o estudo feito por Digges *et. al.* (2009) que afirmou, baseado em energia estática equivalente, que a média da rigidez dos Utilitários Esportivos aumentou nos últimos anos (DIGGES *et. al.*, 2009

apud SAMAHA *et. al.*, 2010). Porém, Samaha *et. al.* (2010) mostra que em 1999, Park *et al.* (1999) estudou 175 tipos diferentes de furgões, camionetes leves e utilitários esportivos, testados no NCAP, desde 1983 e que os melhores resultados se deram nos veículos com menor rigidez estrutural (PARK *et. al.*, 1999 *apud* SAMAHA *et. al.*, 2010).

Os veículos testados foram o Toyota Camry e o Honda Accord. Samaha *et. al.* (2010) coletaram os dados publicados pelo NHTSA e pelo IIHS destes dois modelos, de 1994 até 2008, nestes dois institutos. Para o estudo foram utilizados dados do teste de impacto a baixa velocidade, canadense, que é feito da mesma forma que o teste da NCAP porém com velocidade de impacto de 40 km/h e com manequins de teste modelo Híbrido III de 5º percentil feminino, para motorista e passageiro (SAMAHÀ *et. al.*, 2010).

Nos testes realizados, para se ter um melhor entendimento do que acontece durante o impacto e da rigidez estrutural frontal, Samaha *et. al.* (2010) examinaram as curvas de força X deslocamento e força por tempo, levantadas nos testes da NCAP. A curva de força X deslocamento foi gerada pela força total exercida na barreira de impacto, pelo amassamento dinâmico do compartimento no veículo, ou deslocamento no impacto. Este amassamento dinâmico foi calculado pela segunda integral do pulso do impacto do veículo. Por sua vez, este pulso do impacto do veículo foi medido por acelerômetros localizados em zonas não deformáveis do veículo, como o assento traseiro ou o assoalho traseiro. Quando isso não era possível, dois acelerômetros, de posição esquerda e direita, equivalentes, foram filtrados separadamente e suas médias foram utilizadas. Este procedimento se baseia no fato de que no impacto frontal, em barreira rígida, o amassamento pode ser modelado como um sistema massa-mola simples, de constante não linear (SAMAHÀ *et. al.*, 2010). Na figura 25 temos as curvas de força versus deslocamento do modelo Toyota Camry, modelos de 1992 até 2002. Na figura 26 temos as curvas de força versus deslocamento do modelo Toyota Camry, modelos de 2002 até 2007. Na figura 27 temos as curvas de força X deslocamento do modelo Honda Accord, modelos de 1994 até 2003.

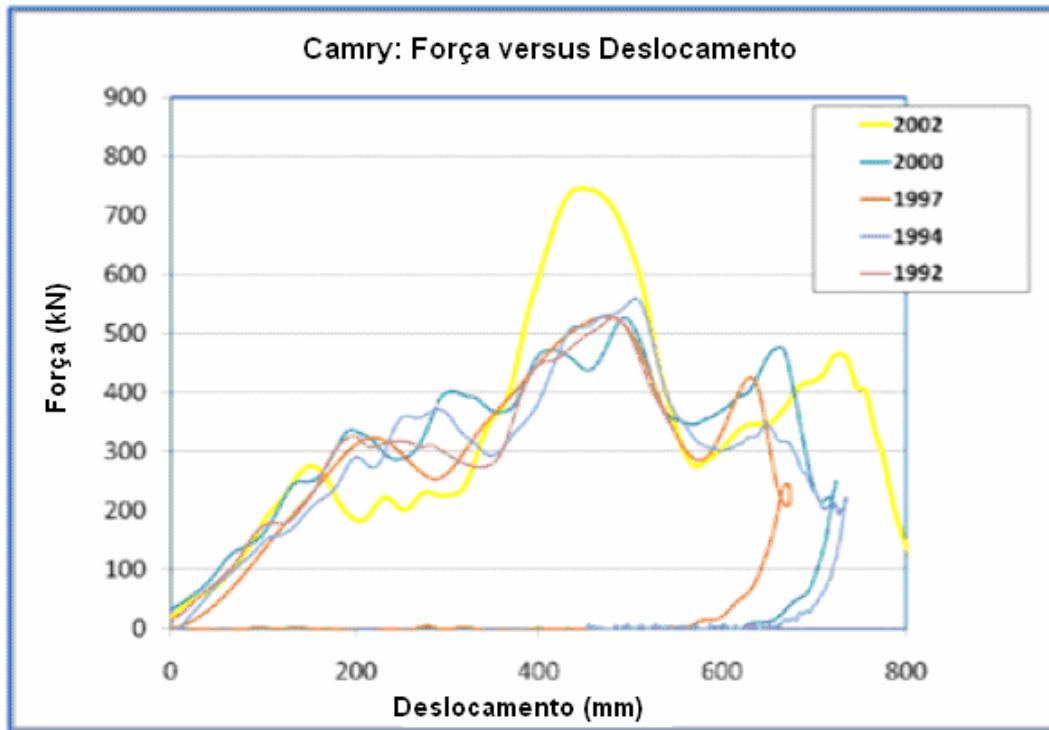


Figura 25 – Curva força versus deslocamento do Toyota Camry de 1992 a 2002 (SAMAHY et. al., 2010)

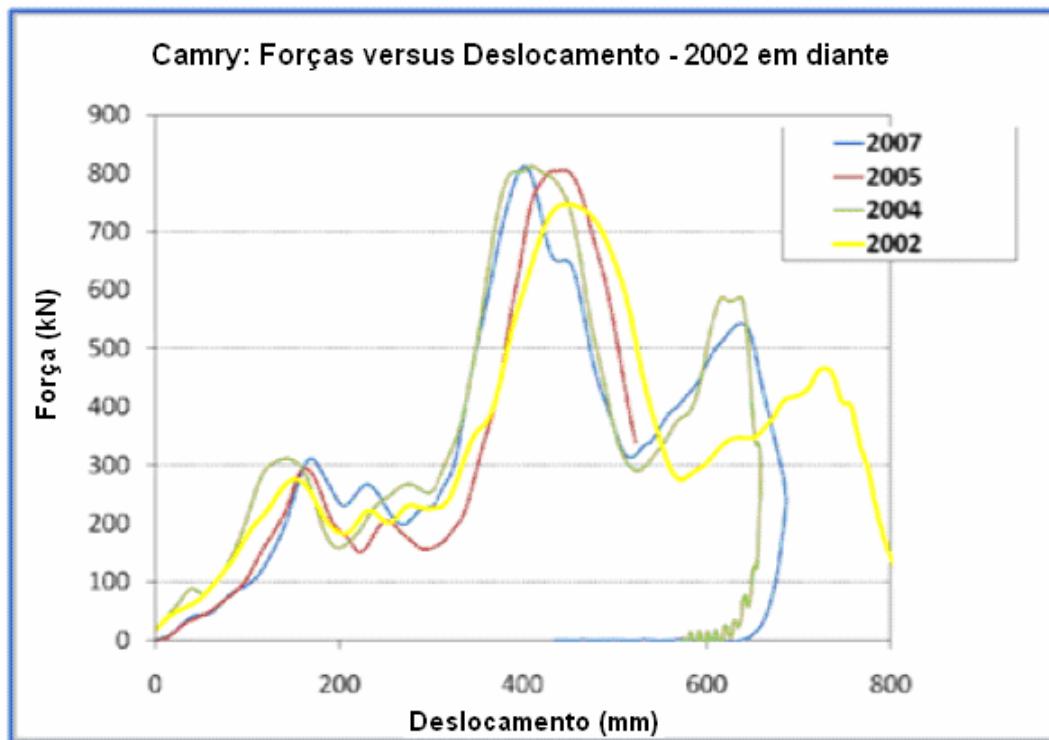


Figura 26 – Curva força versus deslocamento do Toyota Camry de 2002 a 2007 (SAMAHY et. al., 2010)

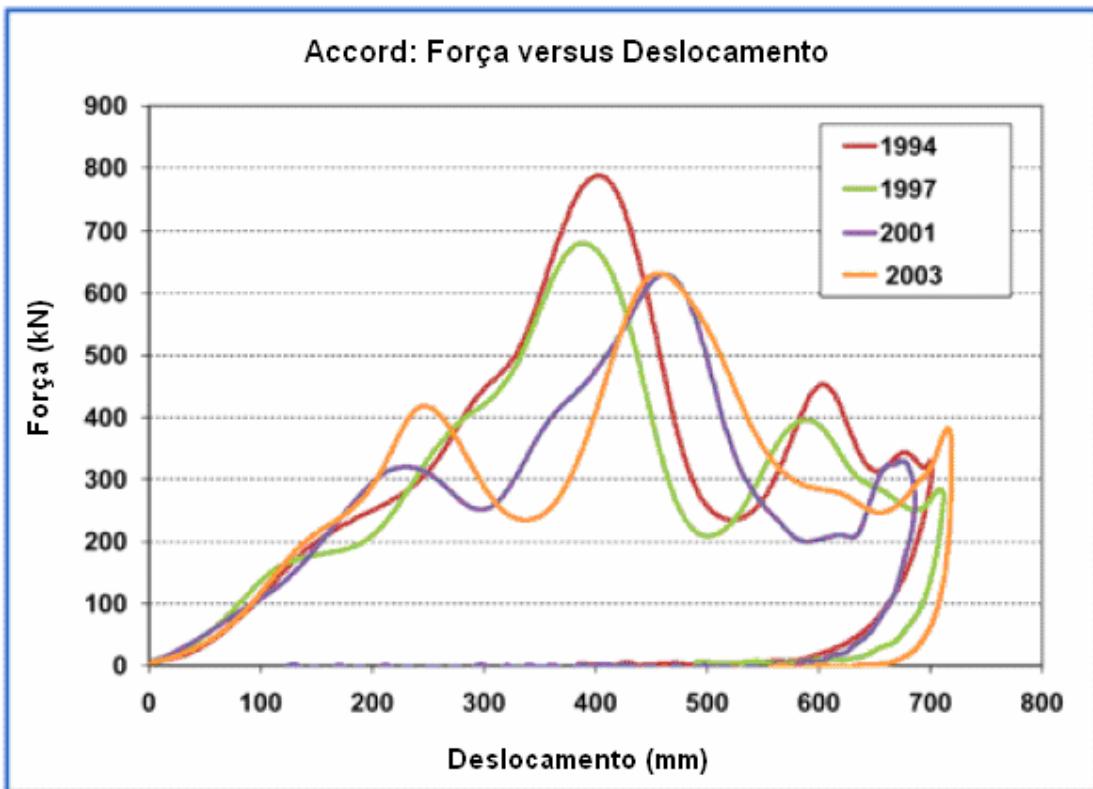


Figura 27 Curva força versus deslocamento do Honda Accord de 1994 à 2003 (SAMAHY et. al., 2010)

Nos gráficos das figuras 25 e 26 é possível observar que o modelo da Toyota além de ter sua rigidez estrutural frontal aumentada, no modelo 2002, teve também um segundo pico de tensão entre 400 mm e 425 mm de deslocamento. Esta mudança na característica da rigidez está em linha com o que foi escrito por Nolan e Lund (2001), de que os veículos, tipicamente, melhoraram seu desempenho nos testes de impacto frontal do IIHS com sobreposição de 40% em barreira móvel, mantendo a mesma rigidez estrutural na frente do veículo e aumentando a rigidez conforme a deformação se aproxima do compartimento dos ocupantes do veículo (NOLAN; LUND, 2001 *apud* SAMAHY et. al., 2010). Neste ano, 2002, houve a mudança da plataforma do modelo que teve esta mesma característica mantida para a mudança de plataforma seguinte, do ano de 2007. Também, no gráfico da figura 26, é possível observar que houve uma diminuição da rigidez estrutural do veículo da Honda em 2001, evidenciando também uma mudança na estrutura do veículo (SAMAHY et. al., 2010). Da mesma forma que as forças versus o deslocamento, as acelerações dos veículos demonstram estes fatos. As figuras 28 e 29 mostram, respectivamente, as acelerações dos veículos nos testes, do Toyota Camry e do Honda Accord.

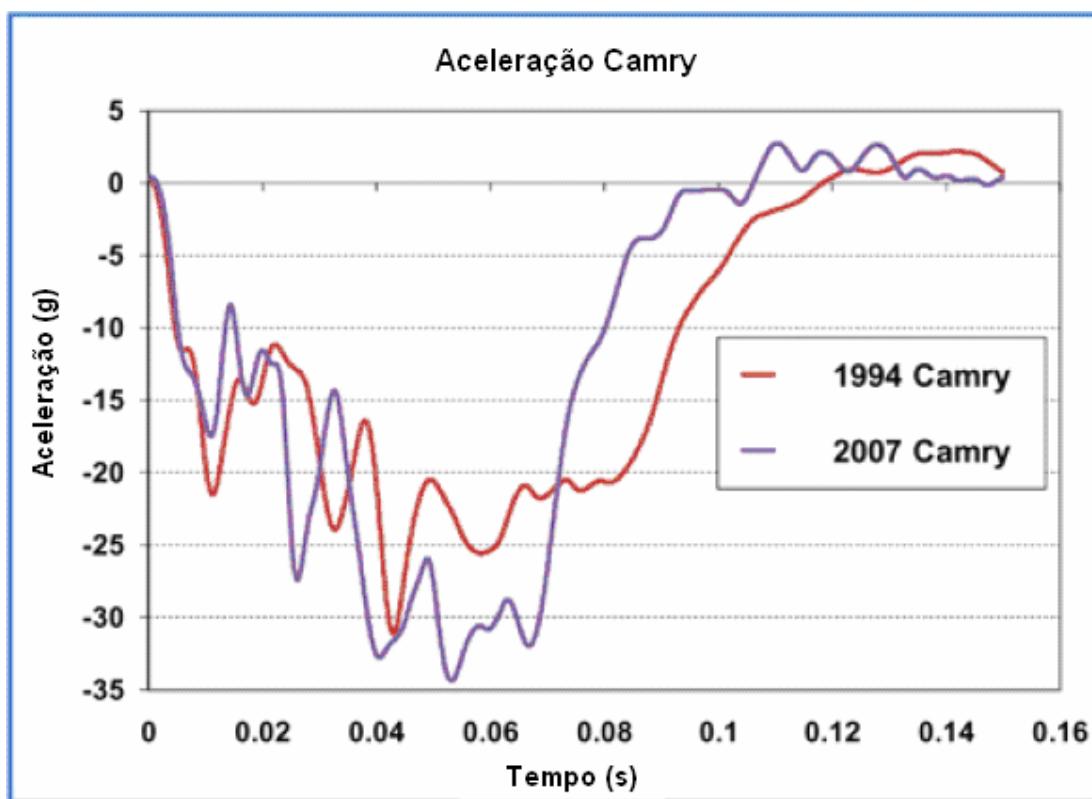


Figura 28 – Curvas de aceleração no compartimento de passageiro do Toyota Camry (SAMAHY et al., 2010)

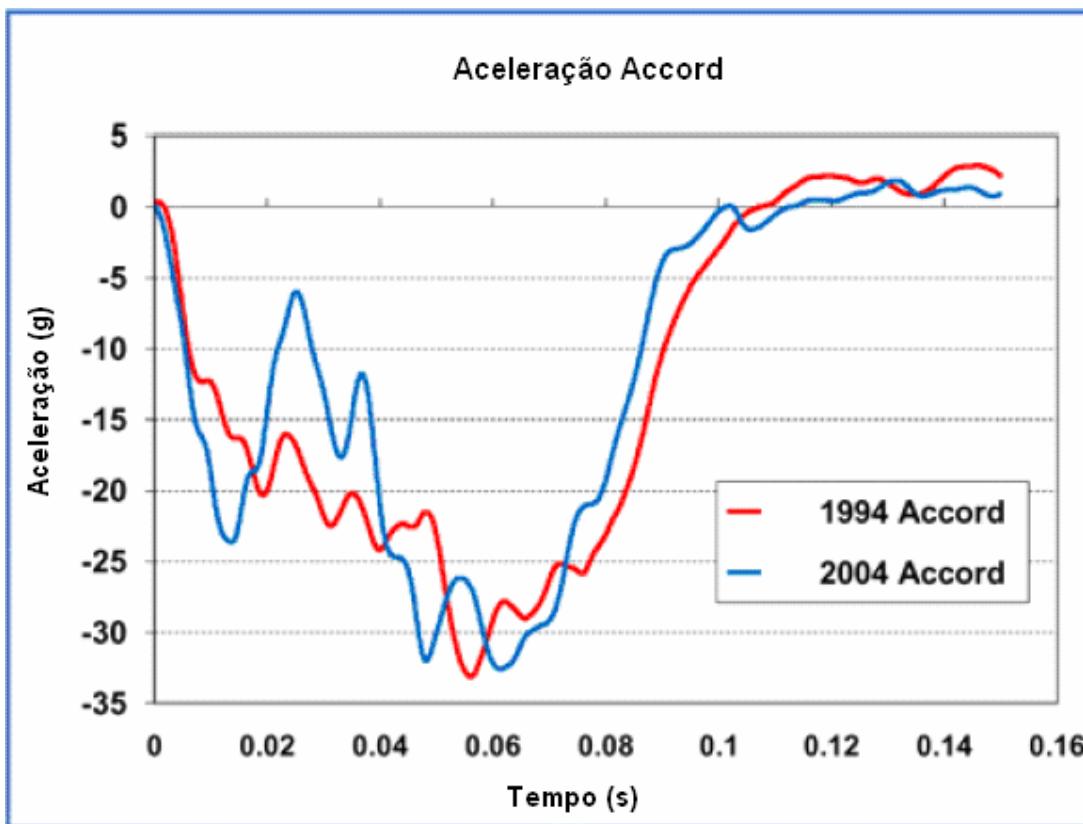


Figura 29 – Curvas de aceleração no compartimento de passageiro do Honda Accord (SAMAHY et al., 2010)

A mesma análise dos dois modelos, ao longo dos anos, foi feita para os valores de HIC. As figuras 30 e 31 mostram, respectivamente, os valores levantados do modelo da Toyota para os manequins de teste na posição do motorista e passageiro, respectivamente. Também, na figura 32 são colocados os valores levantados para os manequins de testes colocados na posição do motorista e passageiro dianteiro do Honda Accord.

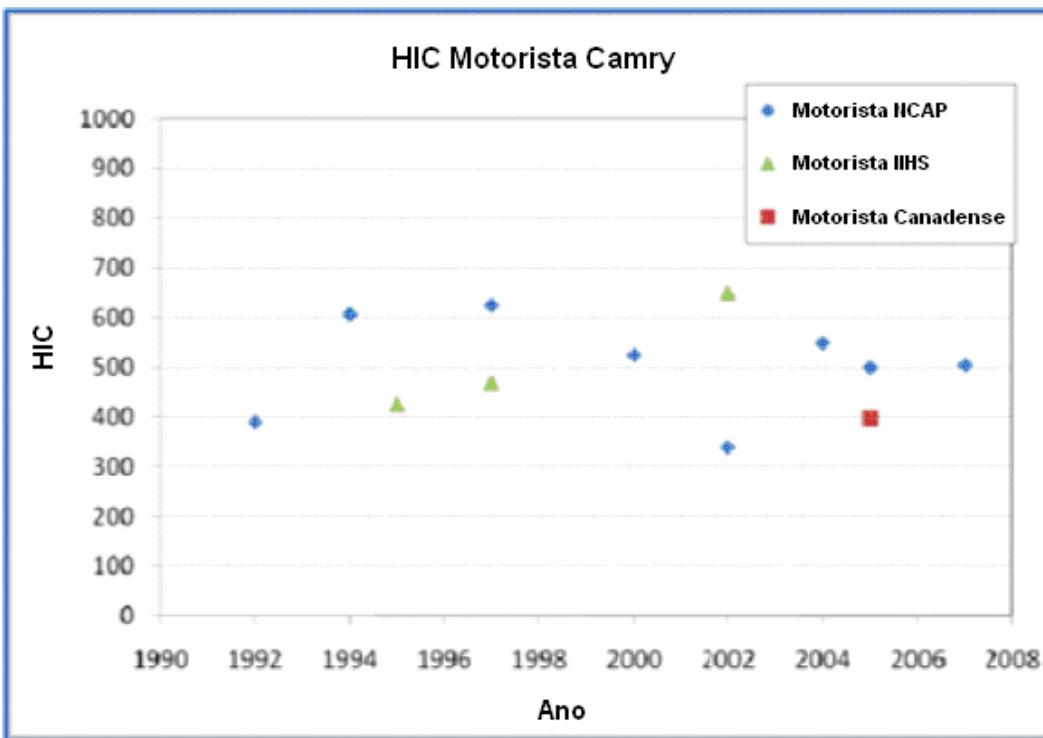


Figura 30 – Valores de HIC levantados, na posição do motorista, do Toyota Camry (SAMAHHA et. al., 2010)

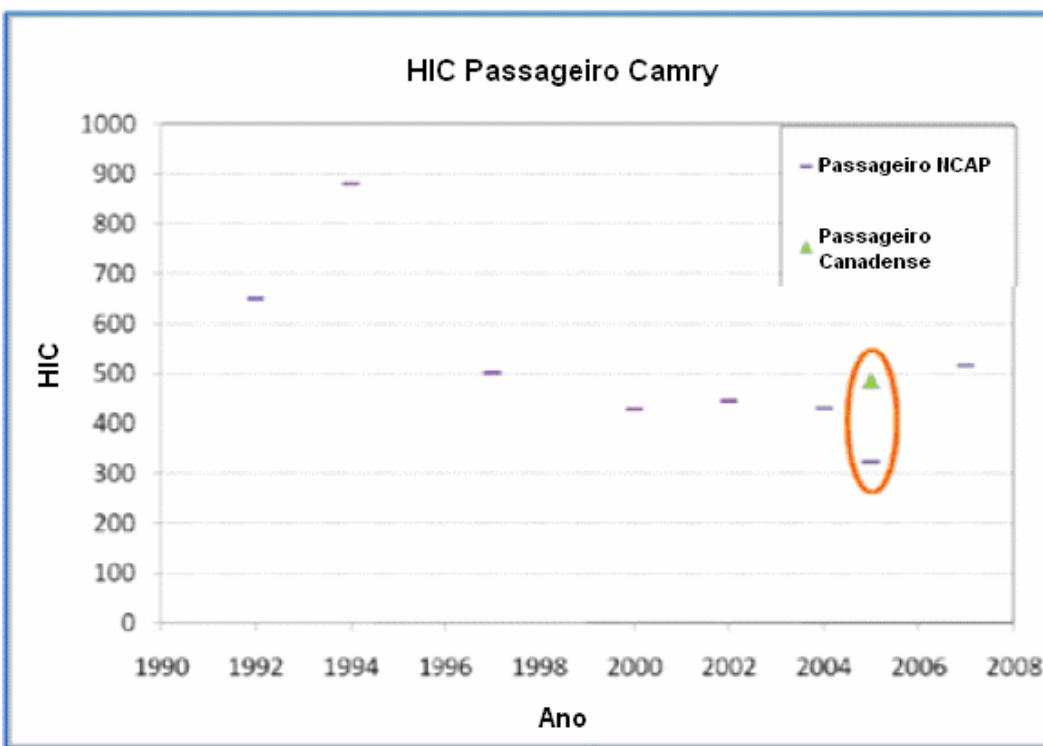


Figura 31 – Valores de HIC levantados, na posição do passageiro, do Toyota Camry (SAMAHHA et. al., 2010)

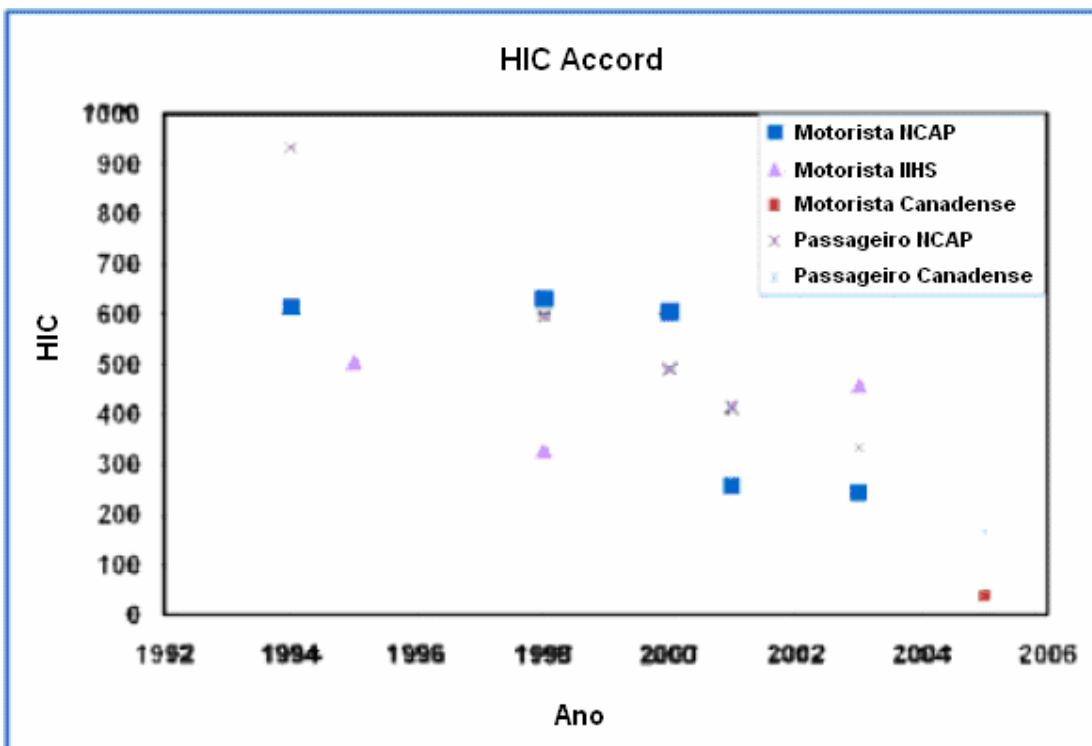


Figura 32 – Valores de HIC levantados, na posição do motorista e passageiro, do Honda Accord
(SAMAHÀ et. al., 2010)

Samaha et. al. (2010) lembram que 1994 foi o primeiro ano do *Air Bag* no modelo da Toyota, sendo que este valor foi decrescendo ao longo dos anos, consequentemente. Porém, também para o modelo da Toyota, o HIC é 34% maior para o passageiro, no manequim de teste de 5º percentil feminino, utilizado no teste canadense, comparado ao teste NCAP com manequim de teste de 50º percentil masculino.

Outra medida importante na verificação dos autores (SAMAHÀ et. al., 2010) foram nas medidas de ferimento das pernas dos manequins de teste. No teste do modelo IIHS, as medidas são feitas no fêmur e na tíbia, enquanto no modelo NCAP e no modelo canadense apenas no fêmur (SAMAHÀ et. al., 2010). As tabelas 7 e 8 mostram, respectivamente, os valores de força no fêmur e o critério da tíbia levantados no modelo de teste IIHS para o modelo da Toyota e para o modelo da Honda.

Tabela 7 – Valores de força no fêmur e de índice da tíbia, do Toyota Camry (TECHDATA, 2009 *apud* SAMAHA *et. al.*, 2010)

Ano- Modelo Camry	Força no Fêmur (kN)		Índice Máxima da Tíbia	
	Esquerdo	Direito	Esquerdo	Direito
1995	3.0	3.8	0.79	0.37
1997	3.9	2.4	0.57	0.68
2002	1.4	1.8	0.39	0.99
2007	1.3	1.7	0.25	0.49

Tabela 8 – Valores de força no fêmur e de índice da tíbia, do Honda Accord (TECHDATA, 2009 *apud* SAMAHA *et. al.*, 2010)

Ano- Modelo Accord	Força no Fêmur (kN)		Índice Máxima da Tíbia	
	Esquerdo	Direito	Esquerdo	Direito
1995	3.3	1.0	1.7	0.91
1998	3.6	2.0	0.47	1.39
2003	0.4	0.6	0.29	0.49
2008	1.0	0.3	0.41	0.4

Nas duas tabelas, 7 e 8 é possível observar que houve diminuição dos valores obtidos dos testes, ao longo dos anos, desde o início dos testes do IIHS, em 1995, mesmo com alguns pontos fora da curva, como o valor de 0,99 do índice da tíbia, do modelo da Toyota em 2002. Esta diminuição dos valores vem acompanhada da melhoria estrutural dos veículos que também obtiveram valores menores de intrusão da deformação, na região dos pés dos ocupantes, como mostram as tabelas 9 e 10, respectivamente para o modelo da Toyota e o modelo da Honda (SAMAHY *et. al.*, 2010).

Tabela 9 – Valores de intrusão da deformação na região dos pés do motorista, do Toyota Camry
 (SAMAHHA et. al., 2010)

Ano-Modelo Camry	Descanso do pé (cm)	Lado Esquerdo (cm)	Centro (cm)	Lado Direito (cm)	Pedal do Freio (cm)
1995	14	25	23	21	14
1997	4	11	12	11	7
2002	4	6	7	5	7
2007	4	6	5	4	4

Tabela 10 – Valores de intrusão da deformação na região dos pés do motorista, do Honda Accord
 (SAMAHHA et. al., 2010)

Ano-Modelo Accord	Descanso do pé (cm)	Lado Esquerdo (cm)	Centro (cm)	Lado Direito (cm)	Pedal do Freio (cm)
1995	16	25	27	23	22
1998	9	18	21	17	12
2003	6	10	13	9	12
2008	7	9	8	6	8

Como comparação, os autores também levantaram os valores de força nos fêmures, para os testes do NCAP e para o modelo de teste canadense. As figuras 33 e 34 mostram, respectivamente, os valores levantados para as forças nos fêmures, esquerdo e direito, do modelo da Toyota.

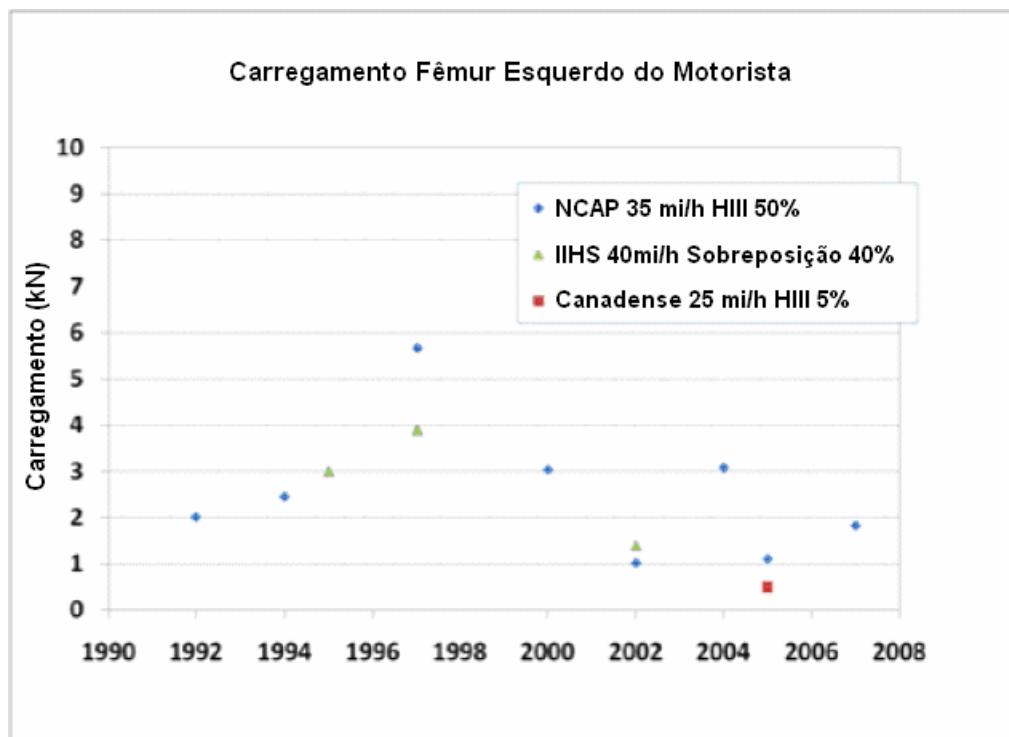


Figura 33 – Valores do carregamento (força) no fêmur esquerdo do motorista, do Toyota Camry
(SAMAHHA et. al., 2010)

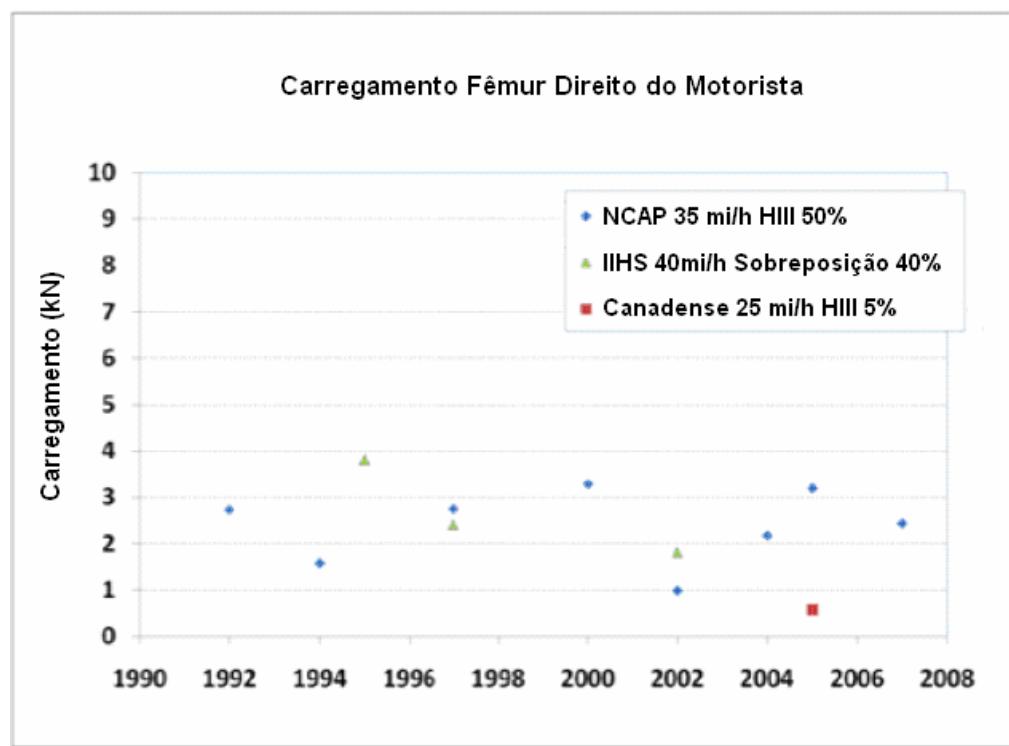


Figura 34 – Valores do carregamento (força) no fêmur direito do motorista, do Toyota Camry
(SAMAHHA et. al., 2010)

Nesse estudo, os autores concluem que os dois veículos tiveram mudanças significativas desde a introdução do teste de impacto em barreira com sobreposição de 40%. Estas mudanças se referem muito ao aumento da rigidez estrutural dos veículos, principalmente na região próxima ao compartimento dos passageiros, que por sua vez, também aumentaram a desaceleração dos veículos, no teste de impacto em barreira rígida, com sobreposição de 100% e aumentaram também a massa dos veículos, entre 7% e 8%. No modelo da Toyota, por sua vez, ainda teve um aumento de rigidez na região mais à frente do veículo, que somadas com os demais aumentos de rigidez, provocaram um risco maior de ferimento dos ocupantes, em caso de impacto frontal, devido à forte desaceleração, principalmente em pessoas com estrutura corporal pequena. Embora os aumentos de rigidez e desacelerações sejam notados, a tecnologia empregada nos sistemas de retenção dos ocupantes, como o emprego de cintos de segurança com pré-tensionadores e limitadores de carga, nos dois veículos, são capazes de absorver e trabalhar com este aumento de solicitação para proteger os ocupantes (SAMAHY et. al., 2010).

3.2.4 Rigidez ao impacto frontal nos diferentes tipos de veículo

Para a verificação do impacto do aumento da rigidez estrutural frontal de diferentes veículos, caso colidam frontalmente, Saunders et. al. (2008) utilizaram os diferentes dados de veículos testados no NCAP e no IIHS, entre 1995 e 2006 e os separou em grupos de classes de veículos de passageiros (PCs – *passenger cars*) e no grupo de veículos pesados, estão os utilitários esportivos, camionetes e furgões (LTVs – *light trucks and Vans*). O grupo PCs ainda foi dividido em compacto, médio e pesado, enquanto o grupo LTVs foi dividido em camionetas, compactas e pesadas, em utilitários esportivos (SUVs – *Sport Utility Vehicles*), compactas, médias e pesadas, e em minivans (Saunders et. al., 2008). A tabela 11 mostra as divisões por classe e massa.

Tabela 11 – Divisões por classes e massa dos tipos de veículos (SAUNDERS et.al., 2008)

	Identidade de Classe	Massa de Teste (kg)
Veículos de Passageiro (PCs)	Compacto (PC/COM)	$1292 < m \leq 1519$
	Médio (PC/MED)	$1519 < m \leq 1746$
	Pesado (PC/HEAVY)	> 1746
Furgões (VANs)	Furgão (VAN)	Todos
Camionetes (PUs)	Compacto (PU/COM)	≤ 2268
	Pesado (PU/HEAVY)	> 2268
Utilitários Esportivos (SUVs)	Compacto (SUV/COM)	≤ 1814
	Médio (SUV/MED)	$1814 < m \leq 2268$
	Pesado (SUV/HEAVY)	> 2268

Para calcular a rigidez energética (*energy stiffness*), foi utilizada a eq. 8

$$\text{Rigidez Energética} = \frac{2F(X_f - X_i)}{X_f^2 - X_i^2} \quad (\text{Eq. 8})$$

(PATEL et. al., 2007 apud SAUNDERS et. al, 2008).

Esta equação vem do valor do trabalho computado, com a força F exercida para amassar a região frontal do veículo, em uma barreira rígida, multiplicado pelo deslocamento do amassamento $X_f - X_i$ (posição final – posição inicial) e equacionando esse trabalho a uma equação de mola ideal, de energia K, de compressão X, de X final X_f , e X inicial X_i ($1/2 K(X_f^2 - X_i^2)$) (SAUNDERS et. al., 2008).

A rigidez energética foi calculada a partir a força exercida na barreira de impacto dos testes NCAP. Para o cálculo do valor K, foi utilizado o deslocamento de 25 mm de amassamento até 400 mm de amassamento (Kw400). Para a medida de intrusão, no compartimento de passageiros foram utilizados 3 pontos na região de apoio do calcanhar e um ponto de descanso do pé do manequim de teste, da posição do motorista, do teste feito IIHS (SAUNDERS et. al., 2008). Estes pontos na região do assoalho dos pés são considerados a região mais crítica de rigidez, pois é

onde começa o aumento de rigidez estrutural do veículo, para proteção do compartimento dos passageiros (SAUNDERS et. al., 2008).

Para a verificação da relação da energia de amassamento versus a rigidez, foram plotados gráficos, para cada um dos tipos de veículos, previamente definidos, da energia Kw400 pelo deslocamento dos 3 pontos medidos no assoalho, na região do calcanhar do motorista (SAUNDERS et. al., 2008). A tabela 12 mostra a quantidade de cada tipo de veículo verificado. O gráfico da figura 35 mostra a relação entre o Kw400 e os valores de intrusão do assoalho para os veículos de passageiros. O gráfico da figura 37 mostra a relação entre o Kw400 e os valores de intrusão do assoalho dos utilitários esportivos. O gráfico da figura 38 mostra a relação entre o Kw400 e os valores de intrusão do assoalho das camionetas.

Tabela 12 – Quantidade de cada tipo de veículos (SAUNDERS et. al., 2008)

Classe do Veículo	Número de Veículos
Veículo de Passageiro Compacto	35
Veículo de Passagerio Médio	43
Veículo de Passagerio Pesado	35
Total de Veículo de Passageiro	113
Total de Furgões	19
Utilitário Esportivo Compacto	12
Utilitário Esportivo Médio	33
Utilitário Esportivo Pesado	14
Total de Utilitários Esportivo	59
Camionetes Compactas	11
Camionetes Pesadas	6
Total de Camionetes	17
Total de Veículos Pesados	97

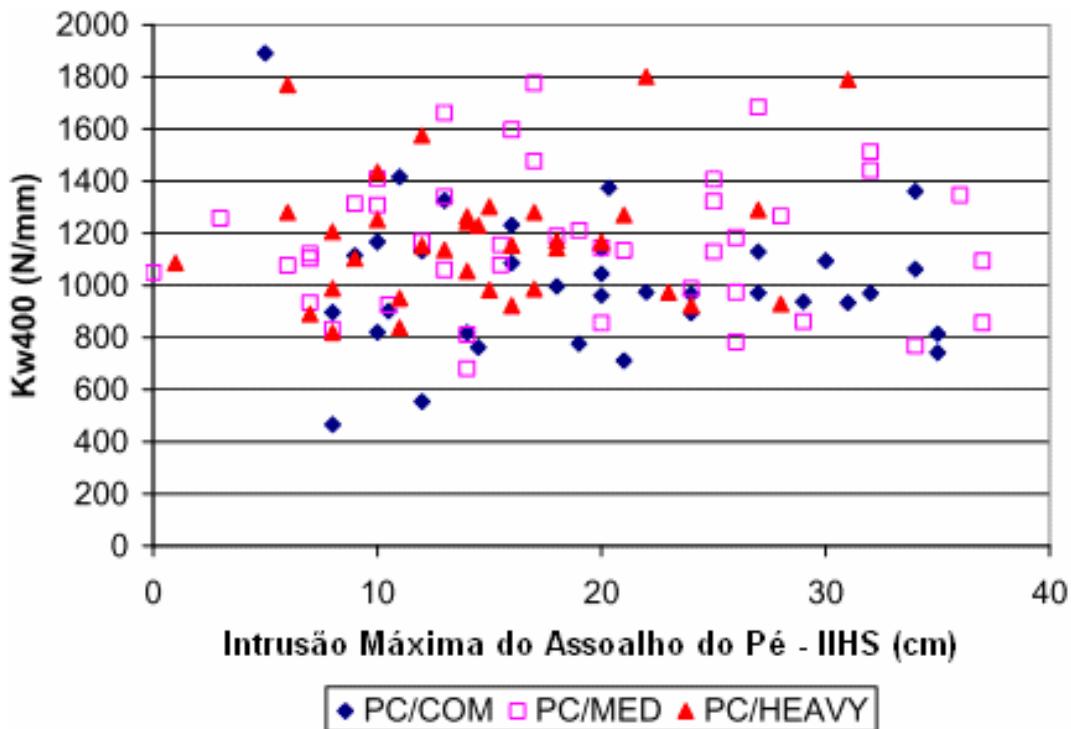


Figura 35 - Relação entre o Kw400 e os valores de intrusão do assoalho para os veículos de passageiros (SAUNDERS *et. al.*, 2008)

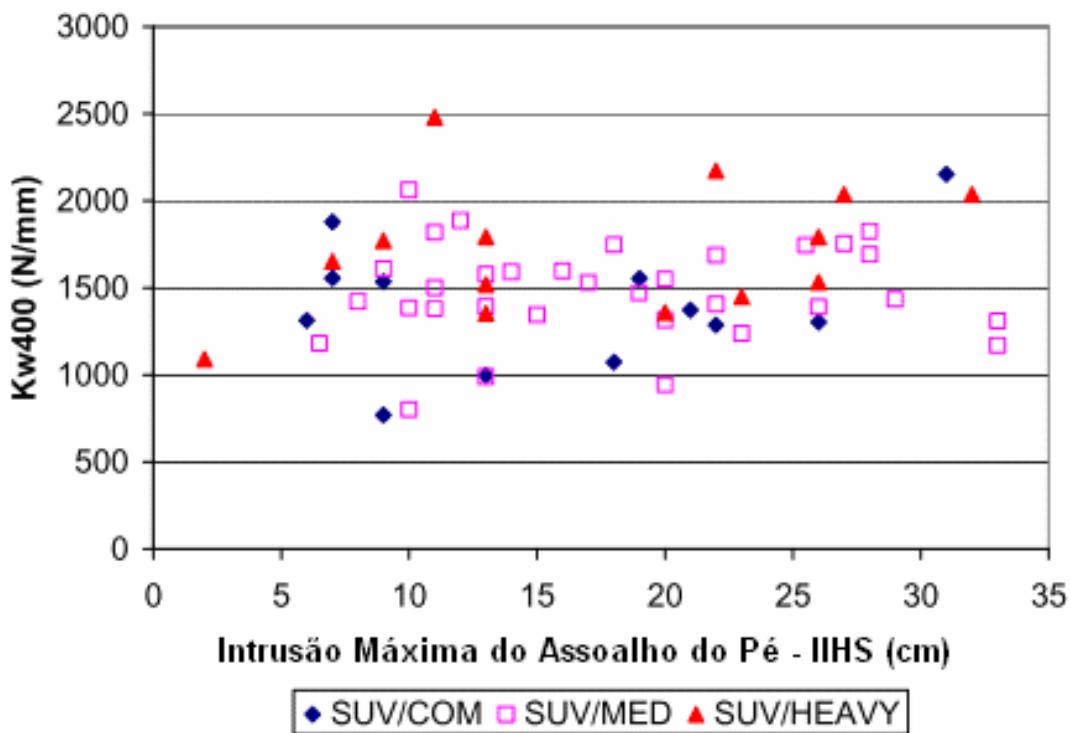


Figura 36 - Relação entre o Kw400 e os valores de intrusão do assoalho para os utilitários esportivos (SAUNDERS *et. al.*, 2008)

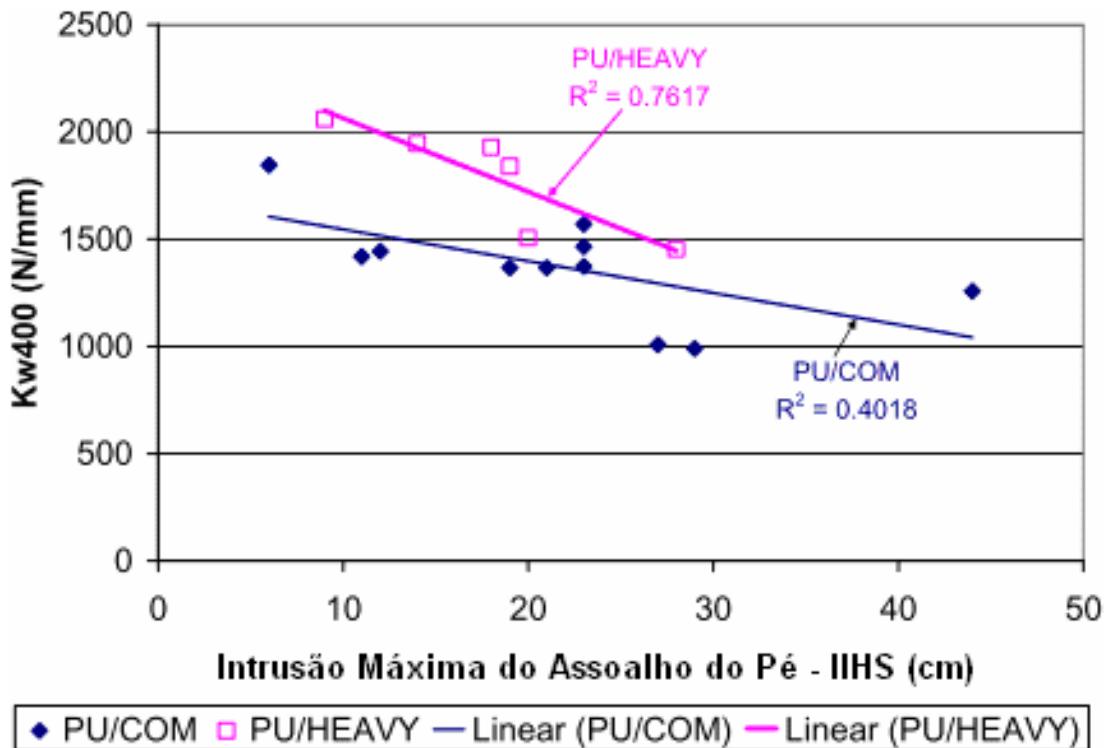


Figura 37 - Relação entre o Kw400 e os valores de intrusão do assoalho para os diferentes tipos de camionetas (SAUNDERS *et. al.*, 2008)

Nos gráficos das figuras 35, 36 e 37 é possível observar que nenhum dos veículos de passageiros e nenhuma SUV têm relação entre a energia Kw400 e a intrusão na região do calcanhar do motorista. Porém, no caso das camionetes, tanto para as camionetes compactas, como para as camionetes pesadas existe uma relação linear entre a energia Kw400 e a intrusão na região do calcanhar (SAUNDERS *et. al.*, 2008). Esta relação foi verificada pelos dois valores do coeficiente de determinação R^2 , encontrados para os dois casos: $R^2=0,4018$ para as camionetes compactas e $R^2=0,7616$ para as camionetes pesadas. A tabela 13 mostra os valores levantados do coeficiente de determinação R^2 , dos veículos verificados (SAUNDERS *et. al.*, 2008).

Tabela 13 – Valores levantados do coeficiente de determinação R^2 , e inclinação, dos veículos verificados (SAUNDERS et. al., 2008)

Classe do Veículo	Inclinação	R^2
Veículo de Passageiro Compacto	-3,5	0,014
Veículo de Passageiro Médio	0,5	0,000
Veículo de Passageiro Pesado	5,9	0,025
Utilitário Esportivo Compacto	12,0	0,070
Utilitário Esportivo Médio	1,0	0,001
Utilitário Esportivo Pesado	13,2	0,099
Camionetas Compactas	-14,8	0,402
Camionetas Pesadas	-34,4	0,762

Mesmo com o baixo número de amostras é notado que os grupos das camionetes têm uma relação de rigidez energética X deformação mais significativa (SAUNDERS et. al., 2008). Os autores da pesquisa também afirmam que a forma de construção destes veículos, com chassi separado da carroceria do veículo, pode ser a razão da rigidez característica destes veículos, que é referenciada pela rigidez das longarinas destes chassis, que tendem a serem maiores conforme a massa do veículo aumenta (SAUNDERS et. al., 2008). Também, por terem sido avaliados SUVs que possuíam chassis separados das carrocerias, assim como SUVs com carrocerias integradas, ou monobloco, o resultado pode ter sido mascarado para estes veículos (SAUNDERS et. al., 2008). Saunders et. al. (2008) entende que estes aspectos dos veículos com chassi separado das carrocerias têm de ser estudados mais a fundo.

3.2.5 Rigidez frontal à deformação em caso de impacto frontal carro-a-carro

Para estudar o que a diferença de rigidez, entre diferentes veículos, pode ocasionar, no evento de uma colisão frontal, Mostafa, Digges e Montevalli (2008) estudaram a compatibilidade de diferentes veículos através de modelos matemáticos montados no programa de computador MATLAB® (*Matrix Laboratory*) e validados com comparação de verificações reais. Compatibilidade de um veículo é a habilidade de um veículo em proteger as pessoas que estão neste veículo e a habilidade deste veículo em proteger os ocupantes de uma colisão contra o outro

veículo da colisão (O'NEIL; KYRYCHENKO, 2004 *apud* MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008).

O algoritmo foi criado usando as seguintes variáveis:

- M = Massa do veículo, obtida pelos dados do teste da NCAP;
- F = Força na interface, obtida pelos dados de força-deformação do teste da NCAP;
- X = Deslocamento do centro de gravidade do veículo;
- x = Deformação frontal do veículo;
- V = Velocidade do veículo;
- a = Aceleração do Veículo;
- Δt = Período de tempo;
- t = Tempo (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008).

Para os valores, todos os índices 1 são para os dados do primeiro veículo e todos os índices 2 são para os dados do segundo veículo. Em qualquer período de tempo, os deslocamentos são dados pelas eq. 9 e eq. 10:

$$X_{1,n+1} = X_{1,n} + V_{1,n} \Delta t \quad (\text{Eq. 9})$$

$$X_{2,n+1} = X_{2,n} + V_{2,n} \Delta t \quad (\text{Eq. 10})$$

As velocidades são dadas pelas eq. 11 e eq. 12):

$$V_{1,n} = V_{1,n-1} - a_{1,n-1} \Delta t \quad (\text{Eq. 11})$$

$$V_{2,n} = V_{2,n-1} - a_{2,n-1} \Delta t \quad (\text{Eq. 12})$$

As acelerações são obtidas pela força na interface de impacto da barreira de impacto e pela massa do veículo, sendo as eq. 13 e eq. 14:

$$a_1 = \frac{F}{M_1} \quad (\text{Eq. 13})$$

$$a_2 = \frac{F}{M_2} \quad (\text{Eq. 14})$$

Na interface dos dois veículos, a força tem de ser a mesma, ficando a eq. 15:

$$F_1 = F_2 = F \quad (\text{Eq. 15})$$

Da geometria é obtida a relação entre deformação e deslocamento, sendo que o deslocamento total tem que ser igual à deformação total, eq. 16:

$$x_1 + x_2 = X_1 + X_2 \quad (\text{Eq. 16})$$

As duas últimas equações são satisfeitas para cada período de tempo. A relação entre F_1 e x_1 e a relação entre F_2 e x_2 são tiradas das curvas de força-deslocamento dos testes da NCAP. O programa acha a região de deformação e interpola, linearmente, os dois valores, disponíveis que definem esta região. O programa encontra valores de x_1 e x_2 para cada intervalo de tempo, para satisfazer a eq. 15 e eq. 16. Depois, o programa calcula as novas aceleração e velocidades e então segue para o próximo período de tempo (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). A figura 38 ilustra a forma de cálculo do programa montado por Mostafa; Digges e Montevalli (2008).

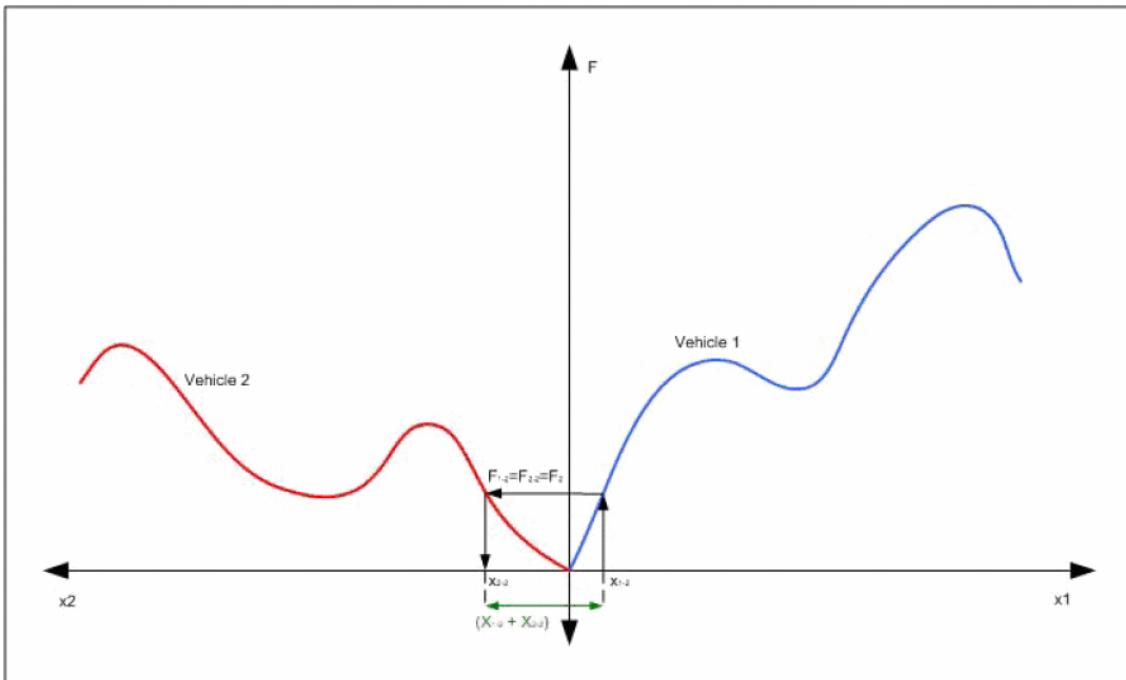


Figura 38– Forma de cálculo de deformações, do programa (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

O programa é rodado até a soma das duas velocidades resultarem em um valor negativo, indicando que os veículos estão se distanciando após o impacto (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). O resultado da simulação do programa será uma curva de deformação por tempo e uma curva aceleração pelo tempo, para cada veículo. Também, serão calculadas as velocidades finais e as deformações totais (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008).

A camionete Dodge Ram foi escolhida para simulação, por ser uma representante de camionete rígida, com sua curva de deformação X força mostrando 480 kN de força no primeiro pico da curva à 188mm de deformação, o que poderia gerar alta deformação em veículos mais leves. Na simulação é possível observar que o Honda Accord, com o primeiro pico de força, da sua curva de força X deformação, de 323 kN, a 190 mm, tem uma deformação maior, até o seu segundo pico de força, já que o primeiro pico de força foi mais alto na Dodge Ram. O segundo pico de força no Honda Accord se deve ao início da deformação na região dos ocupantes do veículo, que possui rigidez mais alta para a proteção deles. Por ter uma rigidez mais alta nesta região é a partir daí que a deformação da Dodge Ram começa a ser significativa. A deformação final do Honda Accord 2000 foi de 364 mm e da Dodge Ram 1999 foi de 481 mm (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). A

figura 3.3.16 mostra a curva Força-Deformação e a figura 40 mostra a curva Deformação-Tempo, para esta simulação.

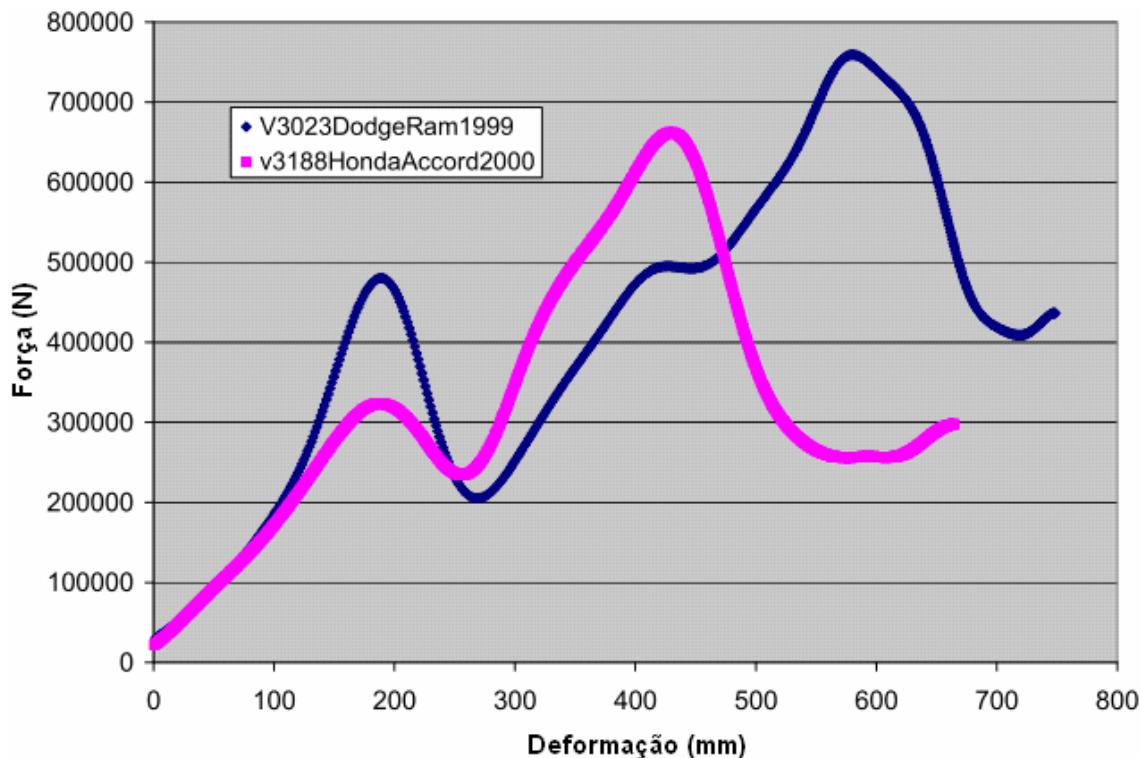


Figura 39 - Curva força-deformação dos modelos Honda Accord 2000 e Dodge Ram 1999
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

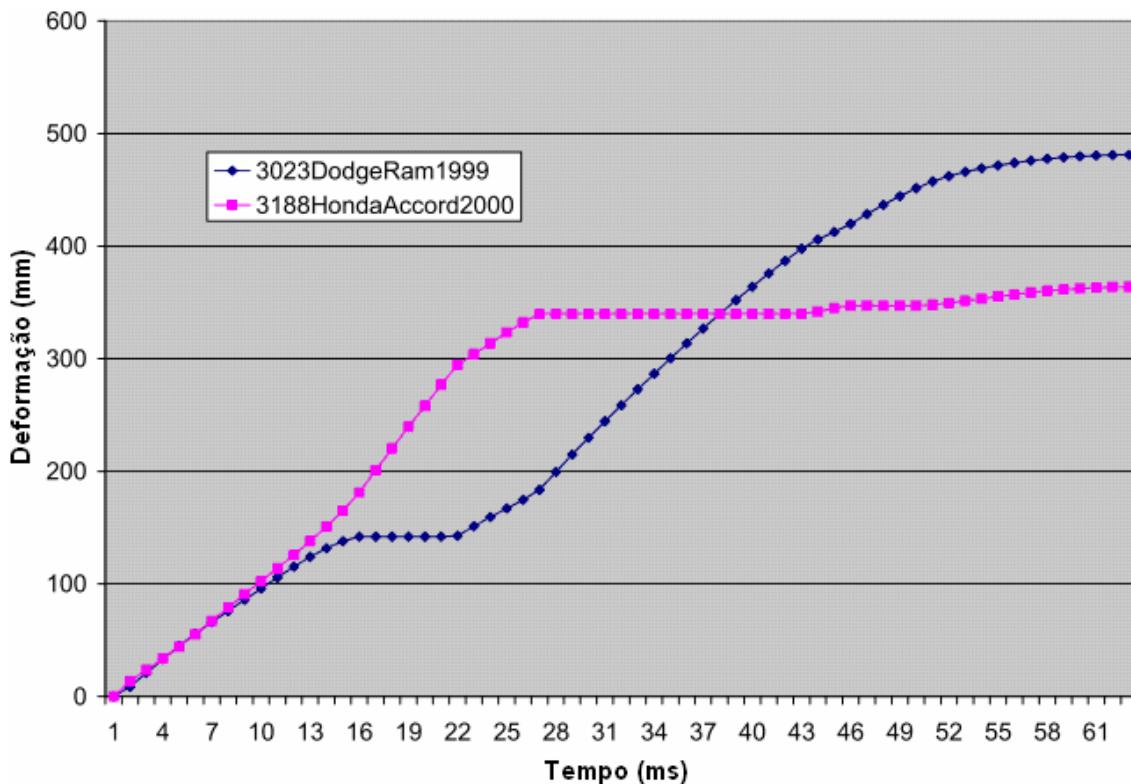


Figura 40 - Curva deformação-tempo dos modelos Honda Accord 2000 e Dodge Ram 1999
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

O Lexus RX330 2004 foi escolhido para a simulação, por ser representante dos Utilitários Esportivos menos rígidos. O Lexus RX330 não possui alto pico inicial de força, muito próximo dos valores de rigidez do Honda Accord 2000, até 400 mm de deformação. Nesta simulação é possível notar que as deformações e forças foram divididas em proporções próximas entre os dois modelos. A deformação final foi de 417 mm para o Honda Accord 2000, e 410 mm pra o Lexus RX330 2004 (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). A figura 41 mostra a curva Força-Deformação e a figura 42 mostra a curva Deformação-Tempo, para esta simulação.

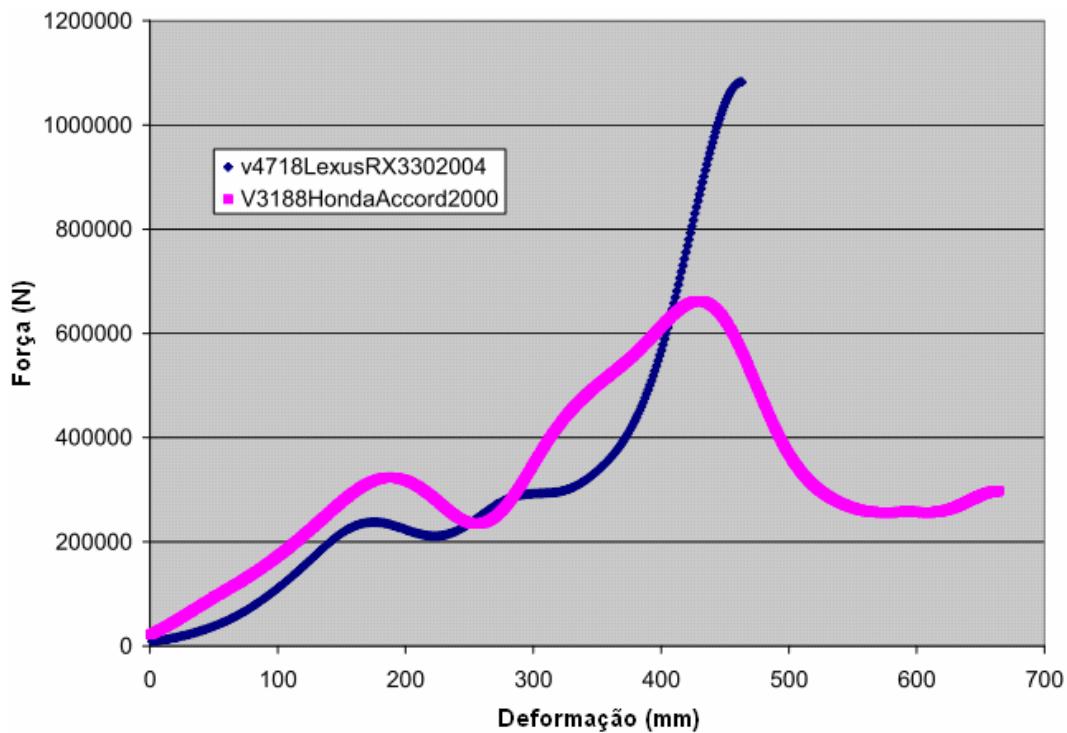


Figura 41 - Curva força-deformação dos modelos Honda Accord 2000 e Lexus RX330 2004
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

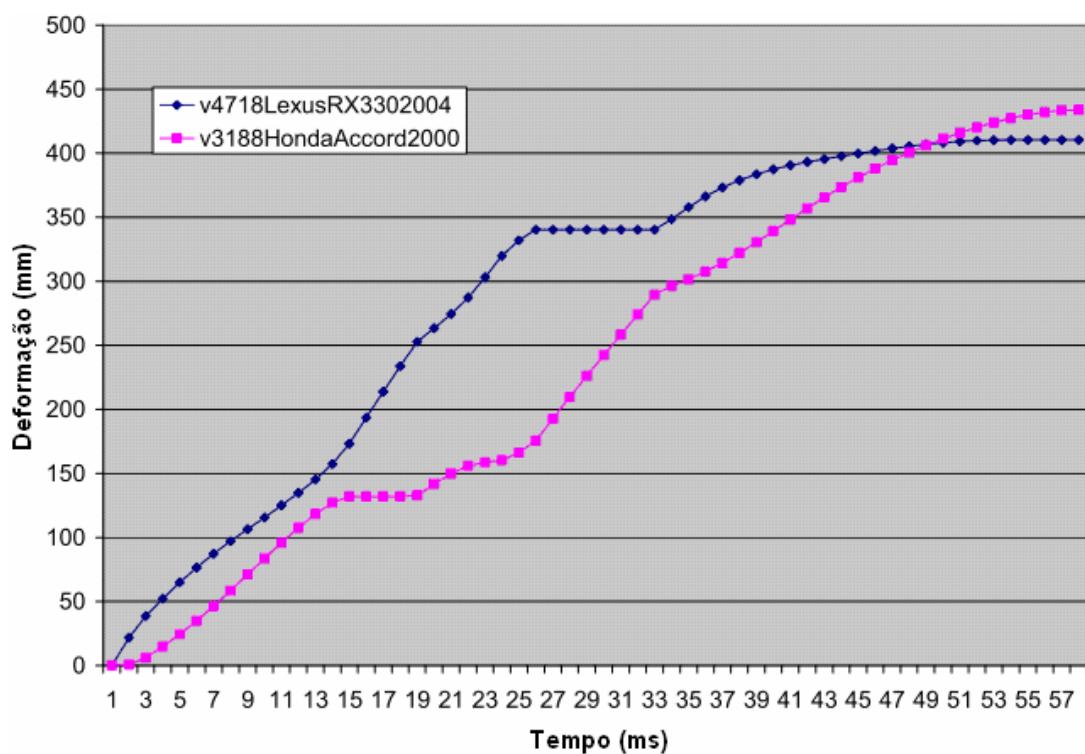


Figura 42 - Curva deformação-tempo dos modelos Honda Accord 2000 e Lexus RX330 2004
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

O Toyota Corolla 2005 foi simulado com o Honda Accord 2000, para verificar o impacto de um carro mais leve (Toyota Corolla), contra um automóvel maior e mais rígido (Honda Accord). Como aconteceu na simulação do Honda Accord com a Dodge Ram, o primeiro pico de força é maior no Honda Accord, que a parte inicial de deformação do Toyota Corolla, levando o Toyota Corolla a ter uma deformação inicial desproporcional à deformação do Honda. Esta deformação aconteceu até 27ms, onde a força de impacto no Toyota Corolla ficou mais alta que a do Honda Accord, fazendo este deformar até atingir o segundo pico de força de impacto do Honda Accord em que a força de impacto do Honda Accord foi maior que a do segundo pico de força de impacto do Toyota Corolla, fazendo o Toyota deformar na região de proteção ao ocupante. A deformação final foi de 521 mm para o Toyota Corolla 2005 e de 320 mm para o Honda Accord (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). A figura 43 mostra a curva Força-Deformação e a figura 44 mostra a curva Deformação-Tempo desta simulação.

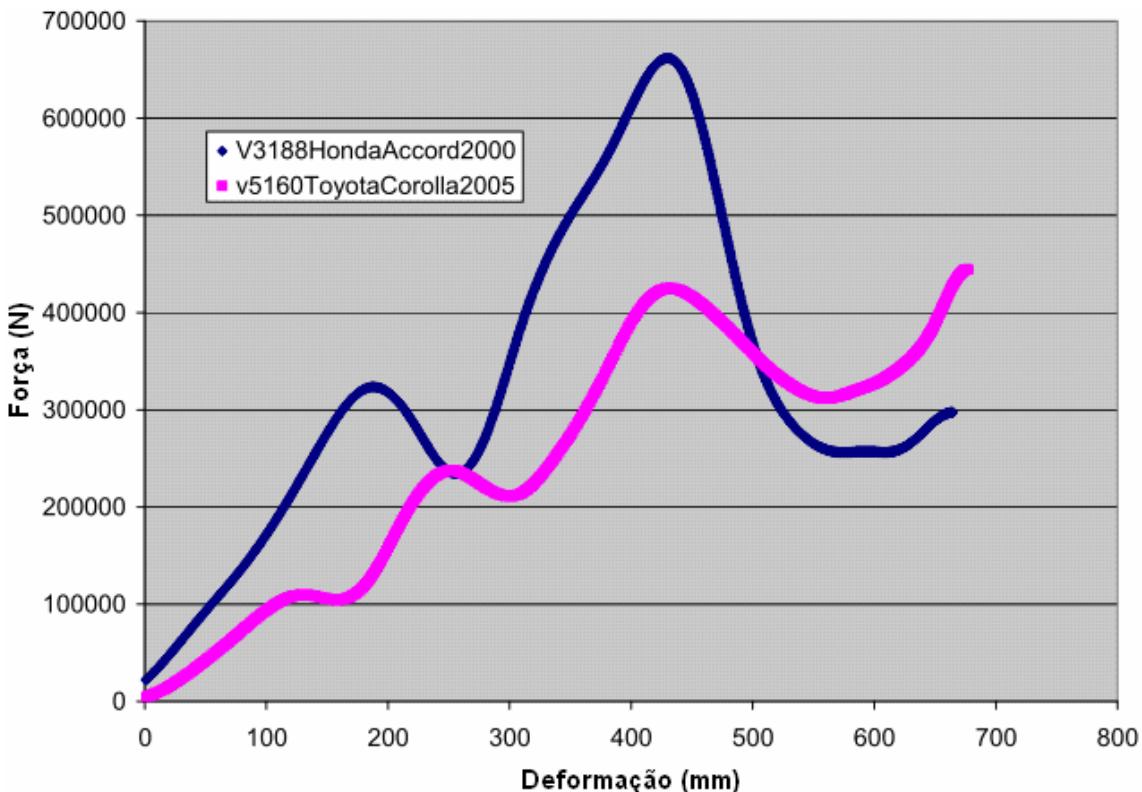


Figura 43 - Curva força-deformação dos modelos Toyota Corolla 2000 e Honda Accord 2000
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

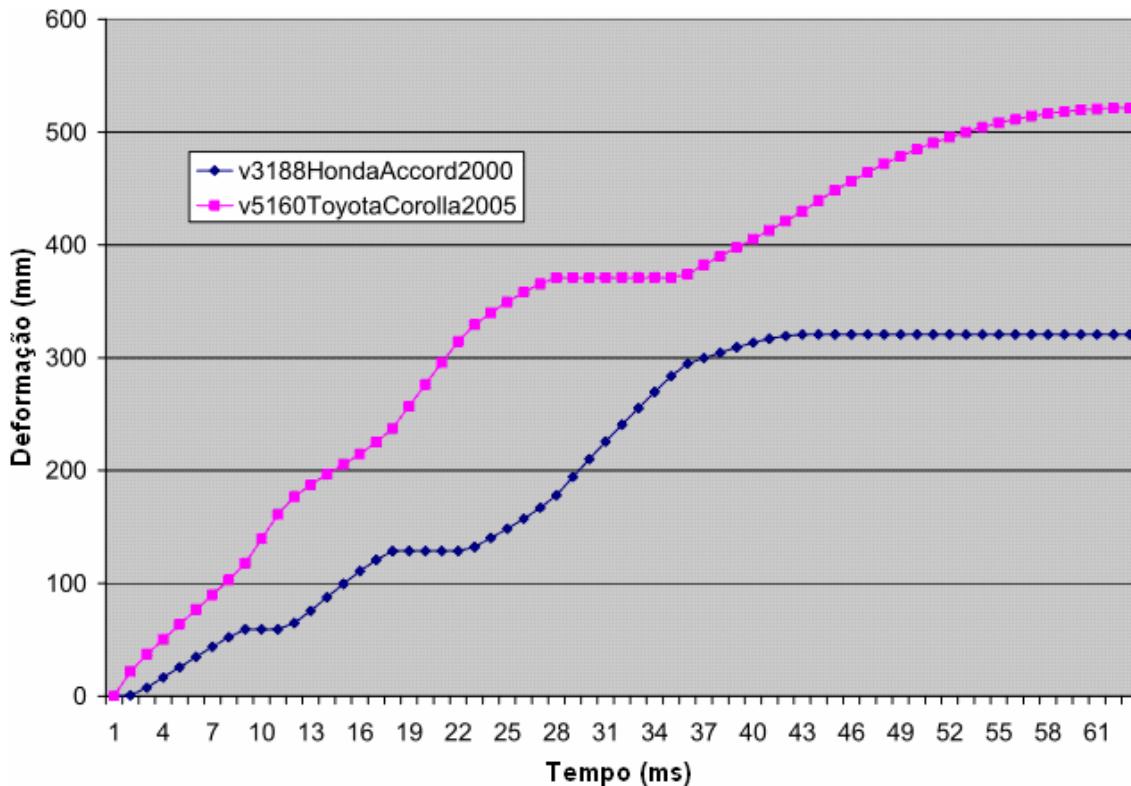


Figura 44 - Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Corolla 2005 e Honda Accord (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

O Toyota Corolla 2005 também teve o impacto frontal simulado com a Dodge Ram 1999, tendo assim a simulação de impacto frontal de um veículo menor e menos rígido com uma camionete maior e mais rígida. O Toyota Corolla também foi escolhido nesta simulação porque o pico de força inicial da Dodge Ram é maior que toda a curva de força-deformação do Toyota Corolla, que possui o maior pico de força de deformação de 444 kN a 676mm, frente ao pico de 480 kN, a 188mm, da Dodge Ram. Esta força de impacto inicial da Dodge Ram fez com que a deformação e a energia de impacto fossem dissipadas no Toyota Corolla. Nesta simulação, a deformação da Dodge Ram 1999 foi de 170 mm mostrando a deformação até o primeiro pico de força de impacto, enquanto que o Toyota Corolla 2005 teve uma deformação de 732 mm, mostrando que a deformação ultrapassou a área de proteção aos ocupantes, demonstrando o perigo de intrusão da deformação contra os ocupantes (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). A figura 45 mostra a curva Força-Deformação e a figura 46 mostra a curva Deformação-Tempo, para esta simulação.

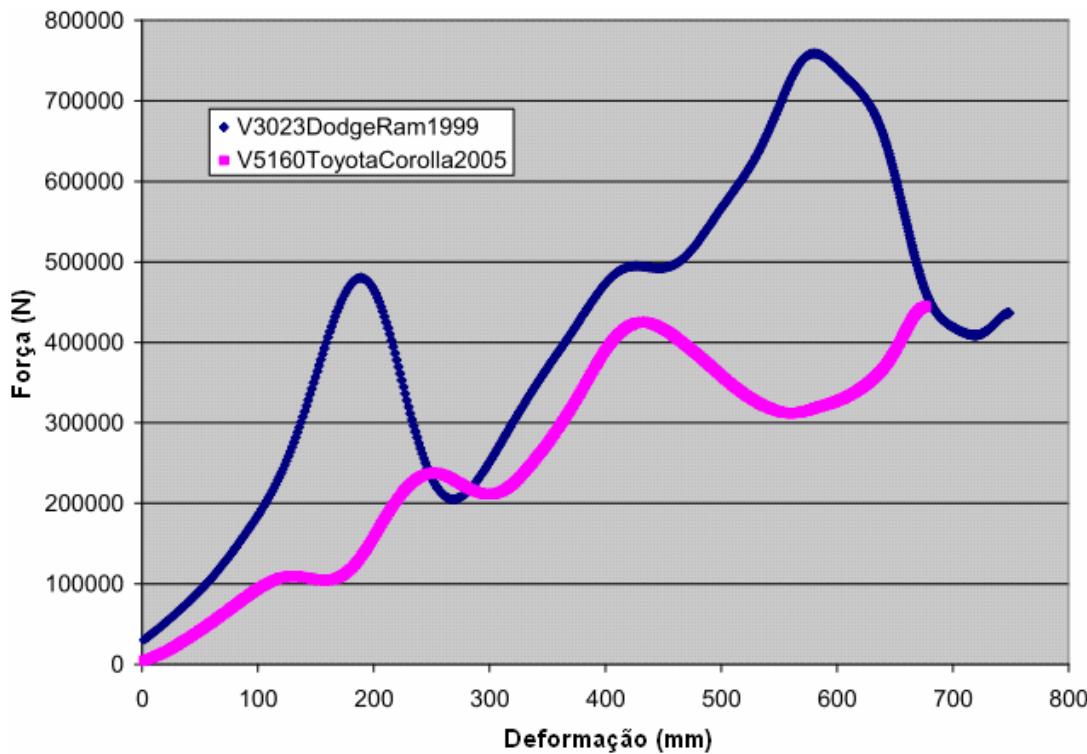


Figura 45 - Curva força-deformação dos modelos Toyota Corolla 2005 e Dodge Ram 1999
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

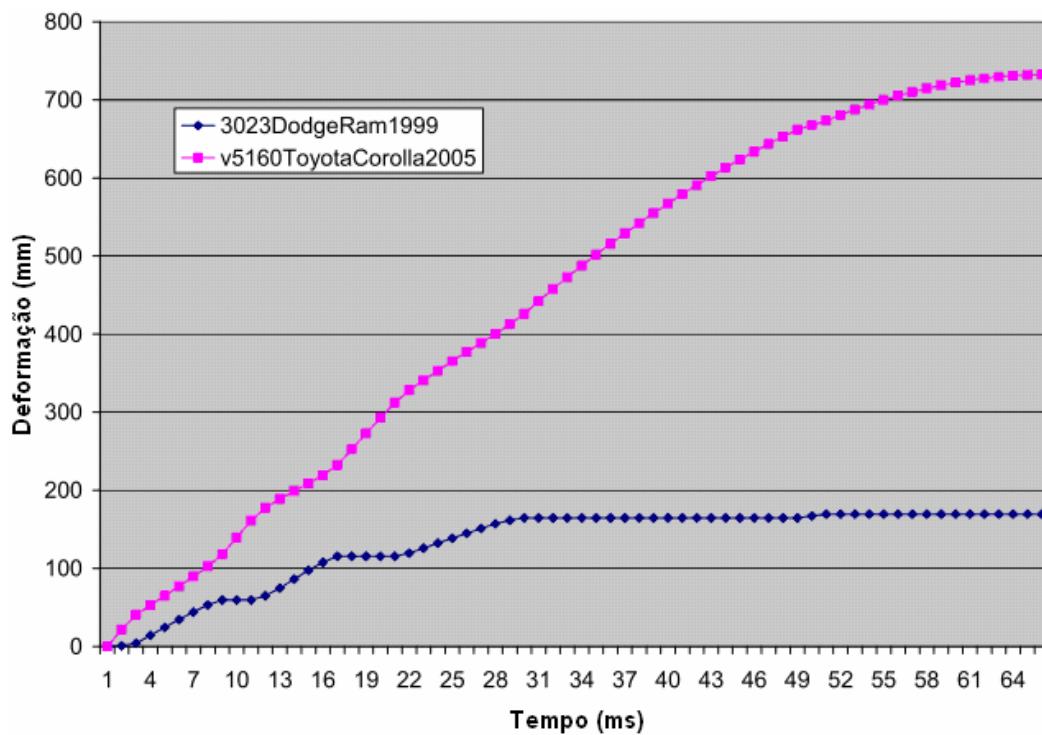


Figura 46 - Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Corolla 2005 e Dodge Ram 1999
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

O Toyota Corolla 2005 foi simulado também com o Lexus RX330 2004, representando, desta forma, a simulação de um impacto frontal de um veículo menor e menos rígido (Toyota Corolla) com um utilitário esportivo grande e menos rígido (Lexus RX330). Como os picos de força de impacto inicial dos dois veículos são próximos, a deformação foi equivalente entre os modelos até o segundo pico de força de impacto do Lexus, que é maior que todos os picos de força de impacto do Toyota Corolla, levando este a absorver o resto da energia de impacto. A deformação do Toyota Corolla 2005 foi de 588 mm e a do Lexus RX330 2004 foi de 378 mm (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). A figura 47 mostra a curva Força-Deformação e a figura 48 mostra a curva Deformação-Tempo, para esta simulação.

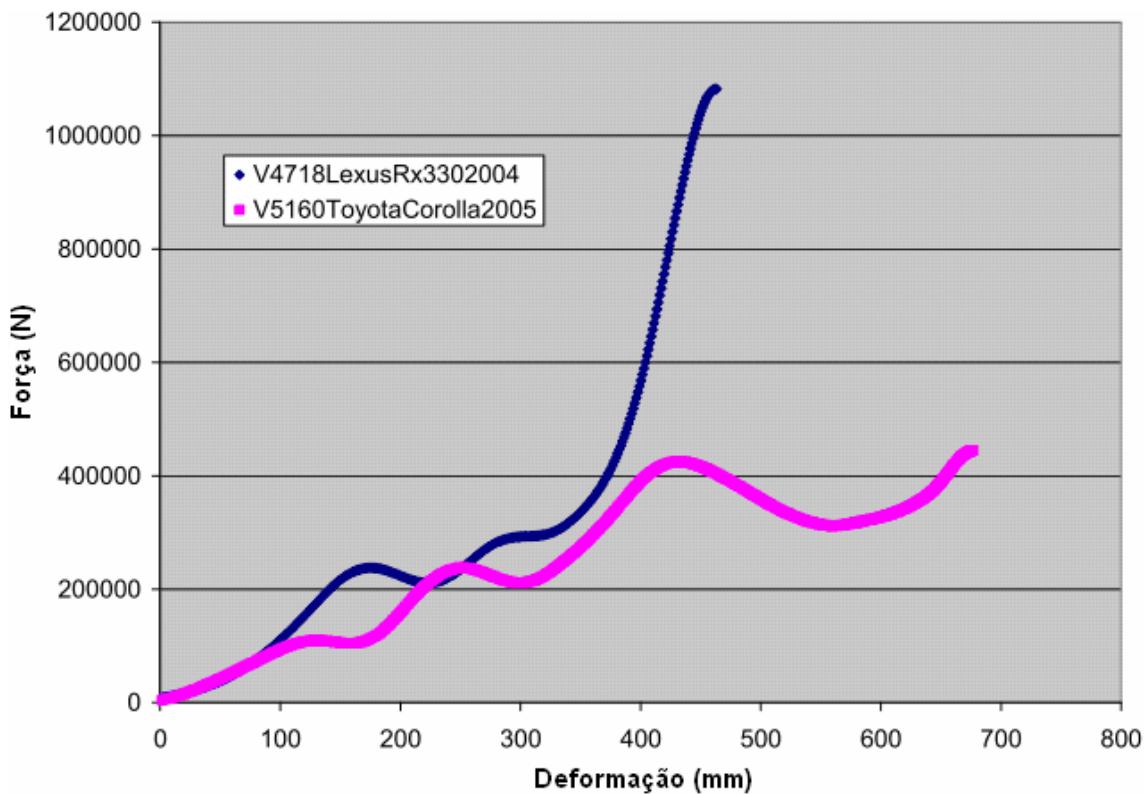


Figura 47 - Curva força-deformação dos modelos Toyota Corolla 2005 e Lexus RX330 2004
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

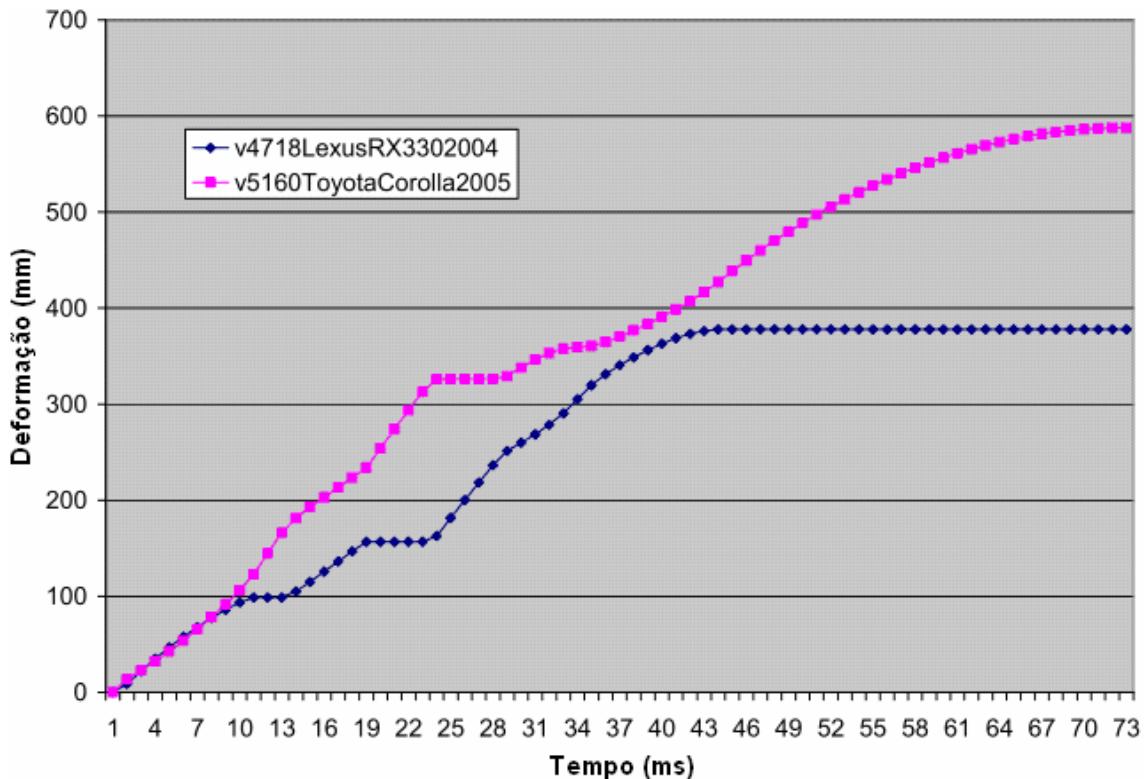


Figura 48 - Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Corolla 2005 e Lexus RX330 2004
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

O Toyota Corolla 2005 foi simulado em um impacto frontal com o Chevrolet TrailBlazer 2002. Esta simulação teve por objetivo analisar o impacto frontal de um veículo menor e menos rígido (Toyota Corolla) com um utilitário esportivo maior e mais rígido (Chevrolet TrailBlazer). Como ocorrido na simulação com a Dodge Ram, o Crevrolet tem um pico inicial de força de impacto maior que todas as forças da curva força-deformação do Toyota, fazendo com que o Toyota absorva, praticamente, toda a energia do impacto, tendo assim uma deformação bem significativa. A deformação total para o Chevrolet TrailBlazer 2004 foi de 114 mm e para o Toyota Corolla 2005 foi de 729 mm, mostrando que houve deformação além da área de proteção dos ocupantes e intrusão significativa também (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). A figura 49 mostra a curva Força-Deformação e a figura 50 mostra a curva Deformação-Tempo, para esta simulação.

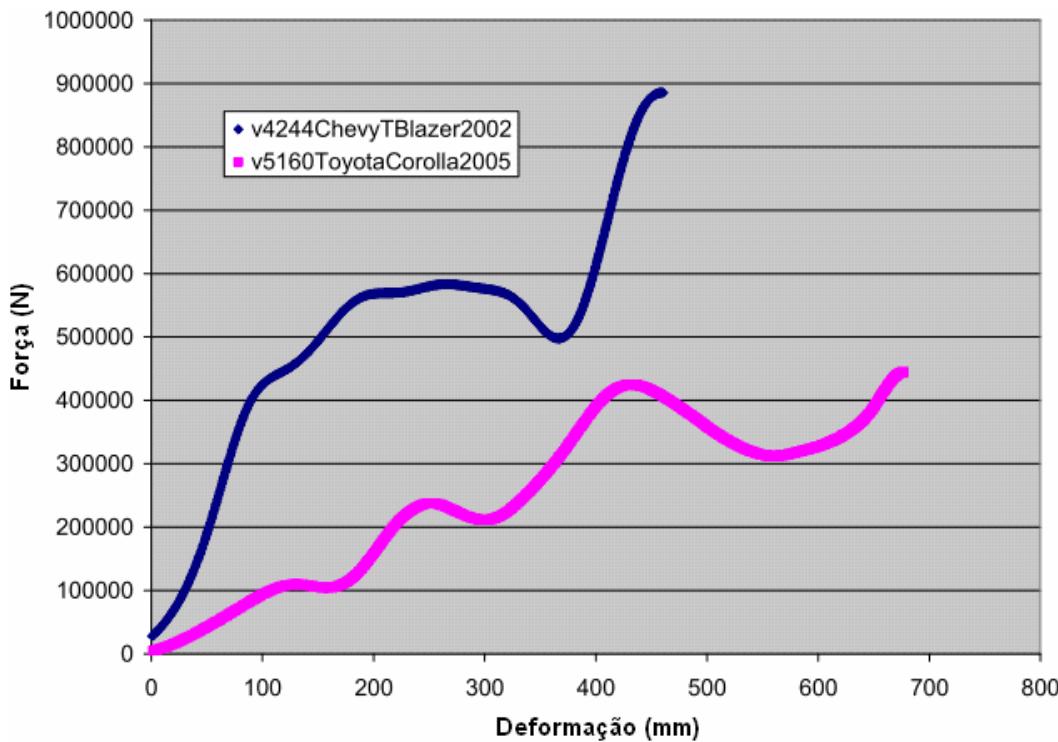


Figura 49 - Curva força-deformação dos modelos Toyota Corolla 2005 e TrailBlazer 2004 (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

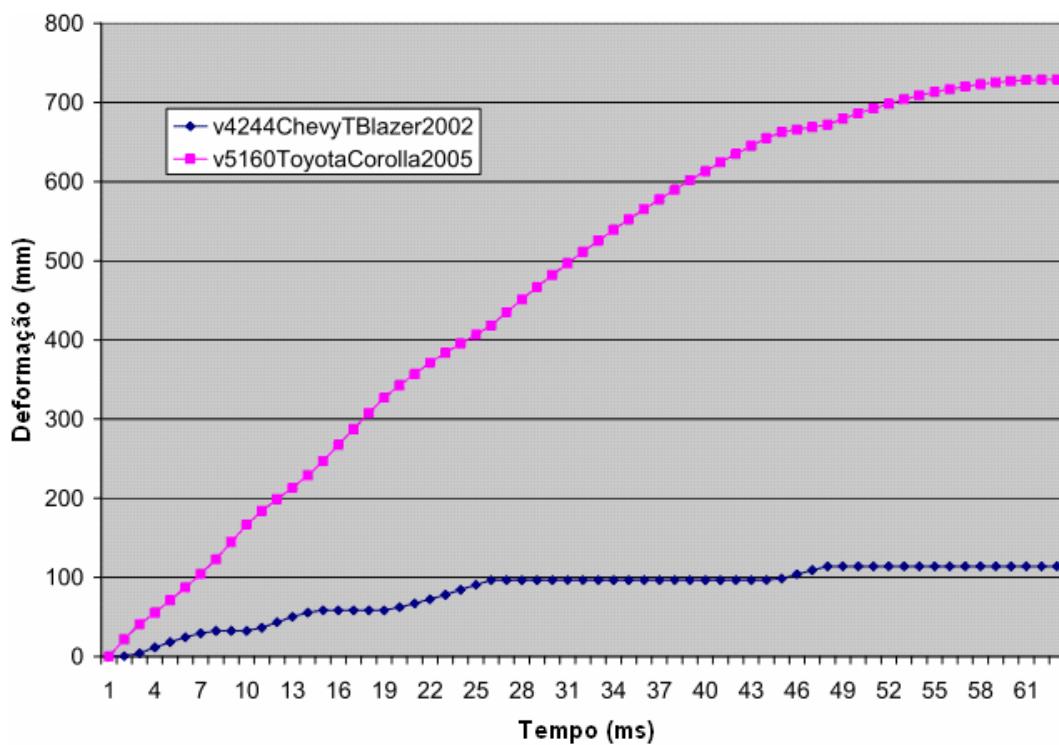


Figura 50 - Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Corolla 2005 e Chevrolet TrailBlazer 2004 (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

O Toyota Camry 2000 foi simulado em um impacto frontal com a Dodge Ram 1999. Assim como o Honda Accord 2000, o Toyota Camry foi escolhido por se tratar de um veículo popular nos Estados Unidos. A força inicial de impacto da Dodge Ram, de 488 kN á 188 mm, foi suficiente para fazer toda a energia de impacto ser absorvida pelo Toyota Camry até o seu pico de força de impacto, já na região de proteção aos ocupantes, ser equivalente ao pico de força inicial da Dodge Ram. Este pico de força de impacto da região de proteção aos ocupantes do Toyota Camry, de 501 kN á 489 mm, fez com que a Dodge Ram passasse a absorver o resto da energia de impacto e a deformação. Porém em um caso real, esta zona de 3% entre o primeiro pico de força da Dodge Ram e o pico de força da região de proteção aos ocupantes do Toyota Camry, pode não ser suficiente para impedir a deformação da região de proteção aos ocupantes do Toyota Camry, por se tratar de uma simulação (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). A figura 51 mostra a curva força-deformação e a figura 52 mostra a curva deformação-tempo, para esta simulação.

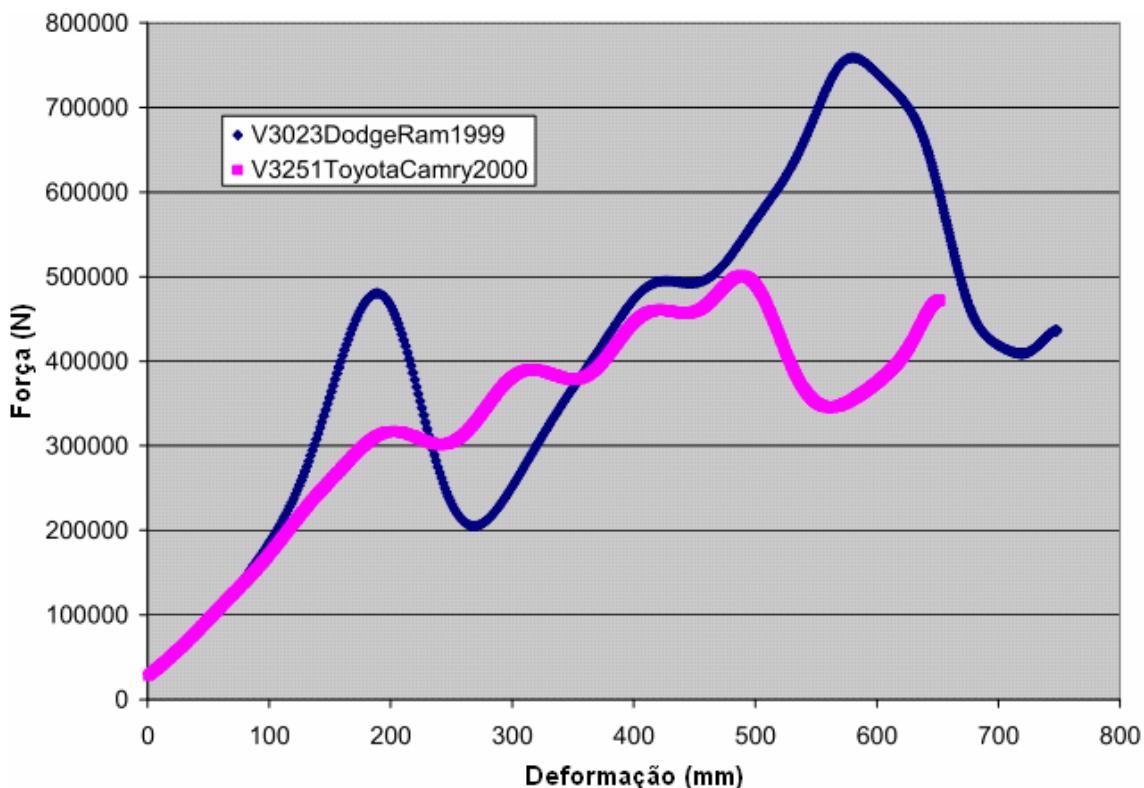


Figura 51 - Curva força-deformação dos modelos Toyota Camry 2000 e Dodge Ram 1999
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

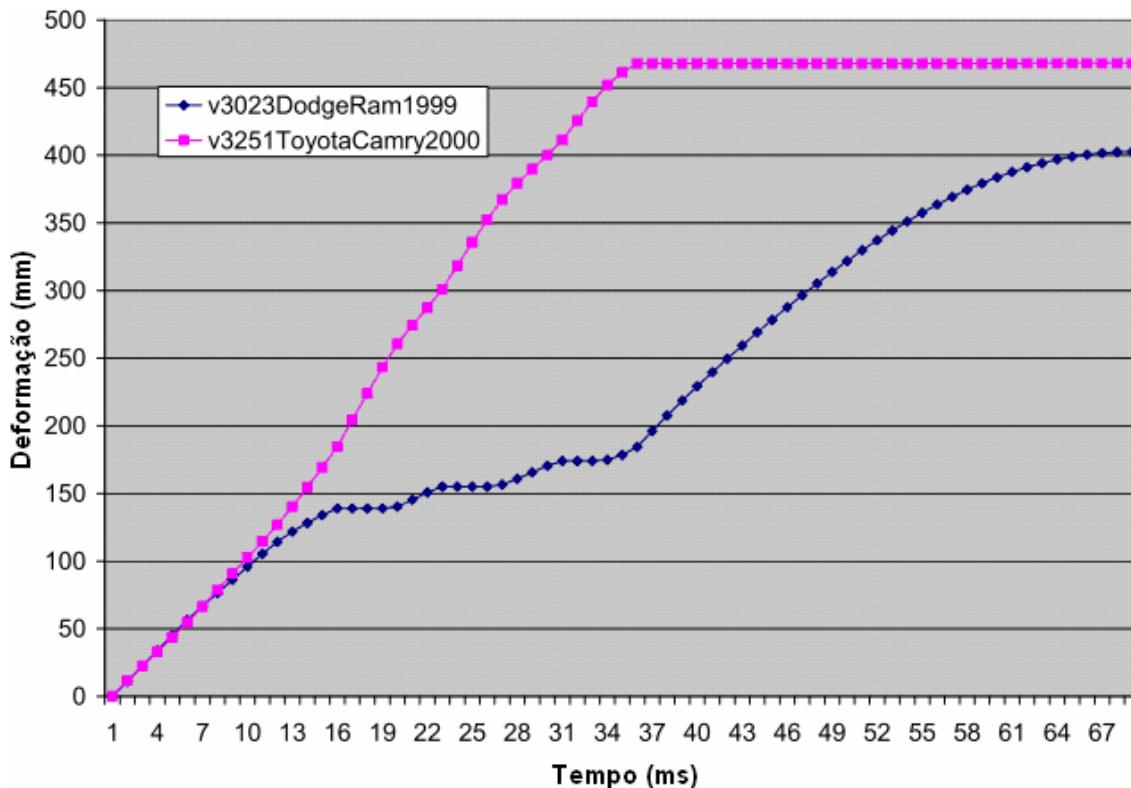


Figura 52 - Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Camry 2000 e Dodge Ram 1999
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

A segunda simulação de impacto frontal do Toyota Camry 2000 foi com o Lexus RX330 2004. Esta simulação tinha por objetivo verificar o impacto frontal de um veículo popular nos Estados Unidos (Toyota Camry 2005), com um utilitário esportivo maior e menos rígido (Lexus RX330 2004). Assim como o Honda Accord 2000 e o Toyota Corolla 2005, o Camry teve uma deformação muito próxima do Lexus, até o ponto onde as força de impacto do Lexus aumentaram e passaram para o Camry a maior parte de dissipação da energia de impacto e a deformação. Por ter uma força de impacto maior que o Corolla, o Camry deformou menos que o Corolla, na simulação de impacto com o Lexus RX330. A deformação do Toyota Camry 2000 foi de 494 mm e de 391 mm para o Lexus RX330 2004 (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). A figura 53 mostra a curva Força-Deformação e figura 54 mostra a curva Deformação-Tempo, para esta simulação.

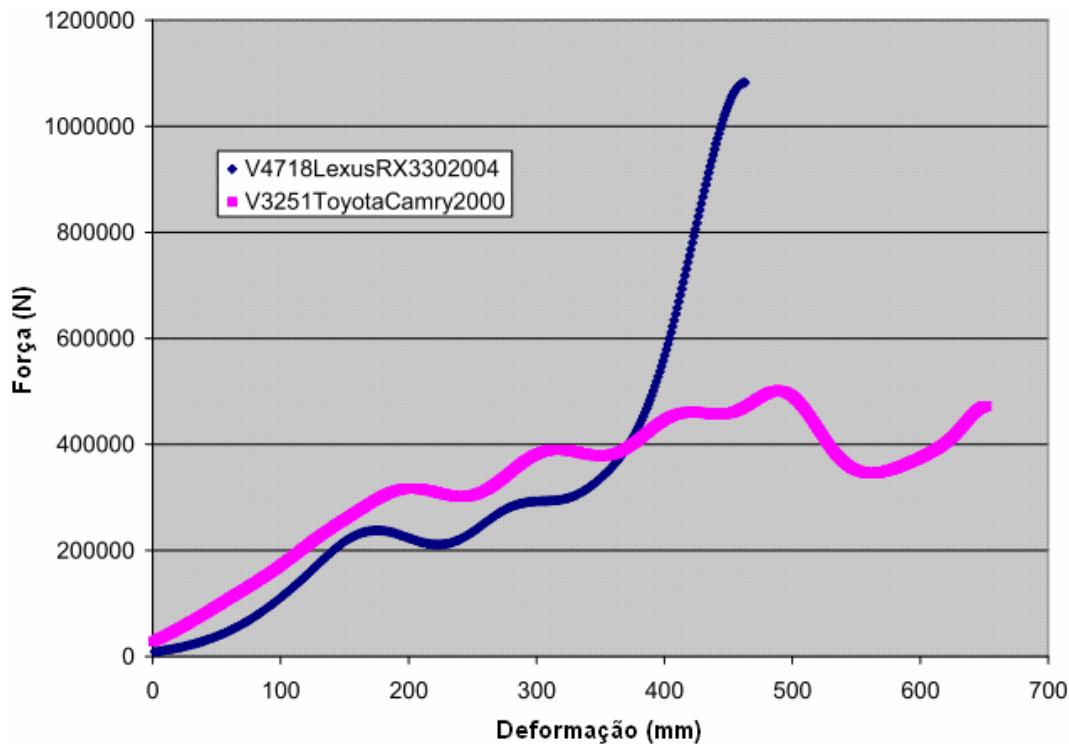


Figura 53 - Curva força-deformação dos modelos Toyota Camry 2000 e Lexus RX330 2004
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

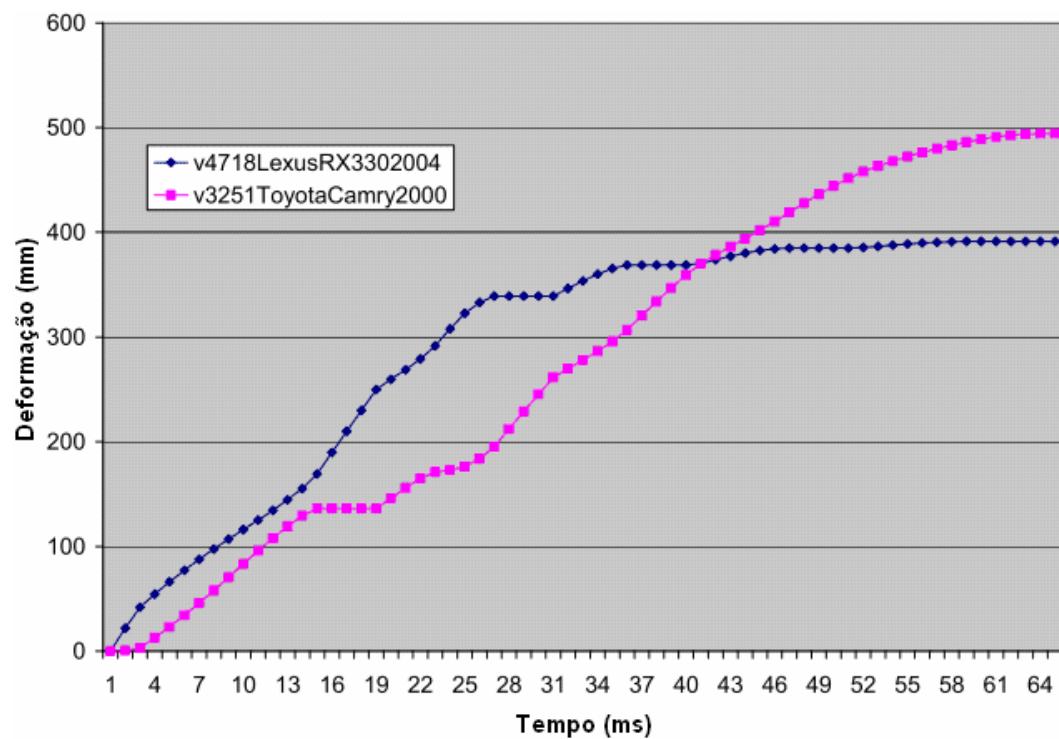


Figura 54 - Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Camry 2000 e Lexus RX330 2004
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

O Toyota Camry 2000 também foi simulado em um impacto frontal com o Chevrolet TrailBlazer 2002. A proposta desta simulação de impacto frontal foi a de verificar o impacto entre um veículo popular nos Estados Unidos (Toyota Camry 2005) com um utilitário esportivo maior e mais rígido (Chevrolet TrailBlazer 2002). Como na simulação com o Toyota Corolla 2000, o pico inicial de força de impacto do Chevrolet fez com que a maior parte da energia de impacto e a deformação fosse direcionada ao Toyota Camry (MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008). A figura 55 mostra a curva Força-Deformação e a figura 56 mostra a curva Deformação-Tempo, para esta simulação.

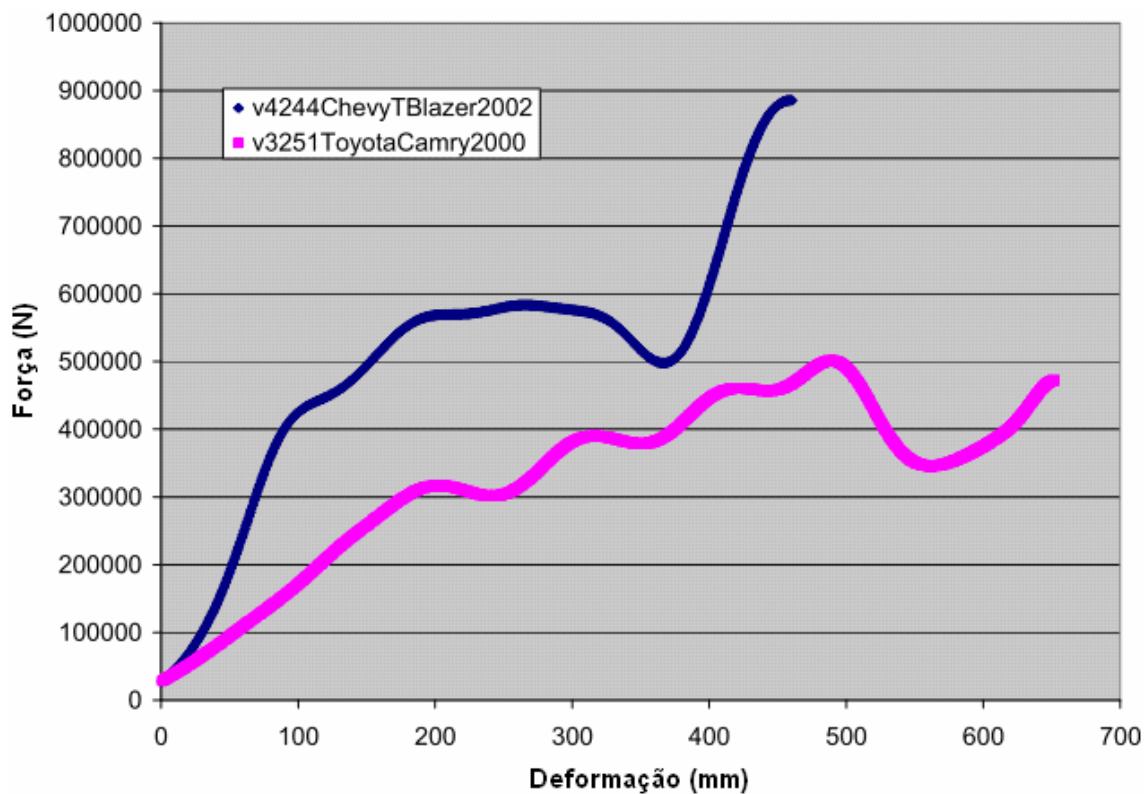


Figura 55 - Curva força-deformação dos modelos Toyota Camry 2000 e Chevrolet TrailBlazer 2002
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

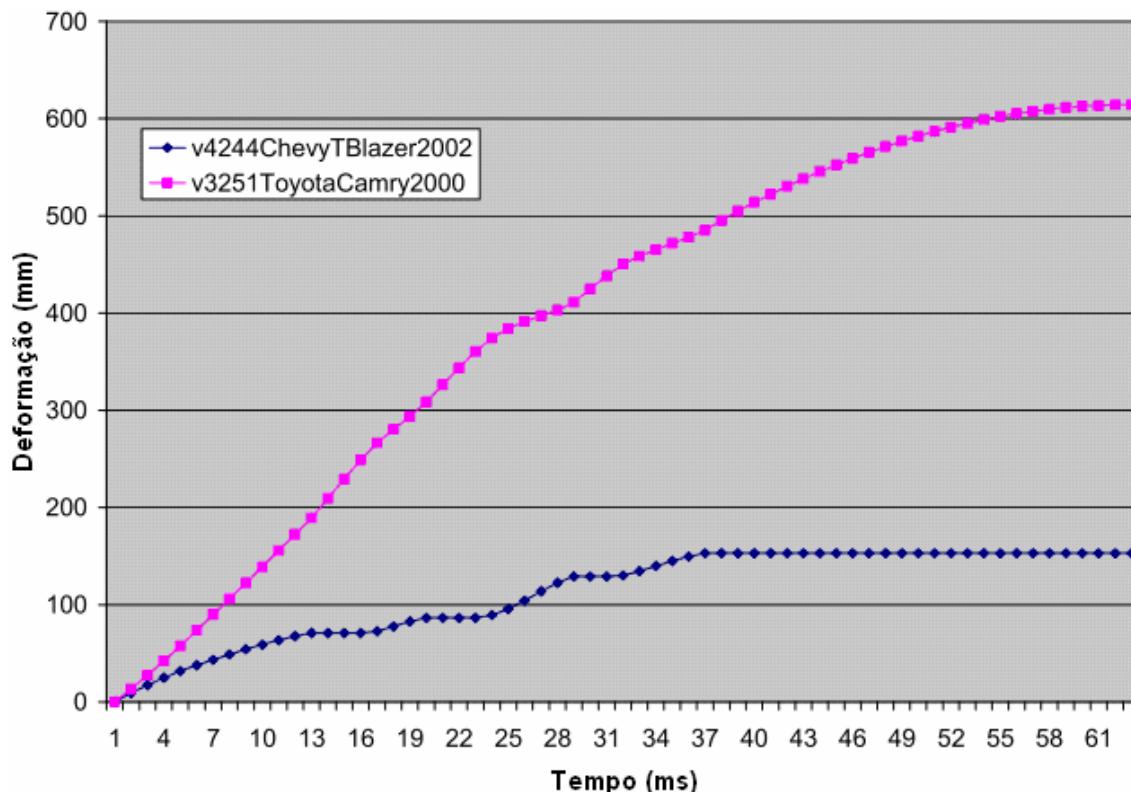


Figura 56 - Curva deformação-tempo dos modelos Toyota Camry 2000 e Chevrolet TrailBlazer 2002
(MOSTAFA; DIGGES; MONTEVALLI, 2008)

Neste estudo de Mostafa; Digges e Montevalli (2008), além de demonstrar a maior propensão a deformações dos veículos pequenos, assim como nos estudos feitos por Mizuno; Wani e Yonezawa (2003), principalmente a impacto frontal de veículos maiores e mais rígidos, o que gera a deformação da região de proteção ao ocupante, colocando em risco o espaço interno de proteção do ocupante, Mostafa; Digges e Montevalli (2008) propõem que a legislação de impacto deve ser flexível para cada tipo de veículo, assim a rigidez estrutural dos veículos poderiam se manter de uma forma que os veículos estivessem protegidos uns dos outros. Também levantado por Egyes e Padmanaban (2009), a diferença de massas entre os veículos, principalmente entre carros e camionetas, por si só já impõe maior perigo, pela diferença de inércia dos veículos, levando o veículo de menor massa a ter uma maior desaceleração e propensão à deformação.

3.2.6 Correlação Física das Deformações Veiculares

Pela Lei da Conservação de Energia, de Newton, temos que a Energia do veículo antes do impacto é igual a energia usada para fazer o veículo parar (RESNICK; HALLIDAY; KRANE, 2003). Temos assim que o veículo em movimento antes do impacto terá apenas Energia Potencial (k), mostrado na eq. 17.

$$k = m \times \left(\frac{v^2}{2} \right) \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde m é a massa do veículo e v é a velocidade do impacto.

Sendo a velocidade de impacto igual para todos os carros, temos então que a energia cinética, usada para parar o veículo, é maior nos veículos com maior massa.

Energia Cinética veículos pesados > Energia Cinética veículos leves.

Sabendo que o veículo deforma como uma mola variável e utilizando a rigidez energética kw400, já utilizado por Saunders *et. al.* (2008), e verificando as figuras 3.2.12, C3, C4 e C5, temos que a faixa da rigidez energética dos veículos menores é menor que a dos veículos maiores, fazendo com que em um teste de impacto frontal, a menor energia cinética dos veículos menores poderia ser considerada para manter os veículos pequenos com rigidez energética menor que a dos veículos maiores, justificando seus valores inferiores de rigidez.

Em um caso de impacto real, com outro veículo, como levantado por Mostafa; Digges e Montevalli (2008), sendo este com energia cinética e/ou uma rigidez energética maior, a menor rigidez energética seria um fator de alta importância na deformação do veículo pequeno, que teria a maior deformação, tendo um volume físico menor para a deformação, provendo menos proteção aos seus ocupantes.

3.3 Impacto da diferença de resultados e aplicação dos testes para o Brasil

De acordo com a Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores, a FENABRAVE (2010) informa, para os veículos emplacados:

- Em 2007, os 10 carros mais vendidos no Brasil foram carros pequenos ou derivados de carros pequenos, como as pequenas camionetas derivadas de veículos pequenos.
- Em 2007, os 14 carros mais vendidos no Estado da Bahia foram carros pequenos ou derivados de carros pequenos, como as pequenas camionetas derivadas de veículos pequenos.
- Em 2008, os 8 carros mais vendidos no Brasil foram carros pequenos ou derivados de carros pequenos, como as pequenas camionetas derivadas de veículos pequenos.
- Em 2008, os 13 carros mais vendidos no Estado da Bahia foram carros pequenos ou derivados de carros pequenos, como as pequenas camionetas derivadas de veículos pequenos.
- Em 2009, os 11 carros mais vendidos no Brasil foram carros pequenos ou derivados de carros pequenos, como as pequenas camionetas derivadas de veículos pequenos.
- Em 2009, os 13 carros mais vendidos no Estado da Bahia foram carros pequenos ou derivados de carros pequenos, como as pequenas camionetas derivadas de veículos pequenos.
- Em 2010, os 15 carros mais vendidos no Brasil foram carros pequenos ou derivados de carros pequenos, como as pequenas camionetas derivadas de veículos pequenos.
- Em 2010, os 12 carros mais vendidos no Estado da Bahia foram carros pequenos ou derivados de carros pequenos, como as pequenas camionetas derivadas de veículos pequenos (FENABRAVE, 2010).

O gráfico com o número dos veículos compactos mais vendidos, por localidade, segue na figura 57.

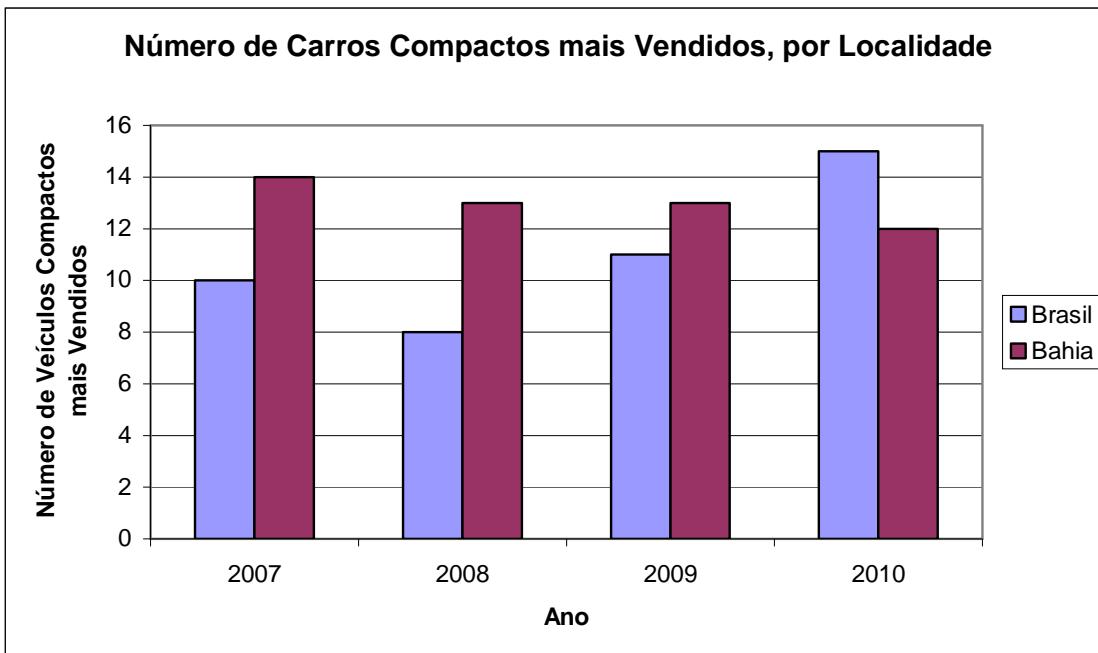


Figura 57 - Número de carros compactos mais vendidos, por localidade

Com estes dados, é possível levantar que no Brasil, 76% dos carros vendidos, em 2010, foram carros compactos. Também, é possível levantar que apenas 5% dos veículos vendidos em 2010, sem contar caminhões, eram veículos com chassi rígido, separado da carroceria. Os demais 19%, são veículos não compactos, com carroceria integrada.

3.3.1 Resultados de Teste de Impacto com Veículos do Mercado Brasileiro

Os primeiros, e únicos, testes feitos pelo *Latin NCAP*, até maio de 2011, foram realizados com nove veículos, vendidos no mercado latino-americano (*Latin NCAP*, 2010a). Os veículos utilizados e os resultados dos testes são mostrados na [tabela 14](#).

Tabela 14 – Veículos e resultados do primeiro teste de impacto frontal do *Latin NCAP* (*Latin NCAP*, 2010d).

Veículo	Modelo	Fabricante	Ano Modelo	Massa no Teste (kg)	Air Bag	Pontuação (estrelas*)	Ferimentos				Observações
							Cabeça	Peito	Perna - Superior + Joelho	Perna - Inferior + Pés	
Gol	Trend Series	Volkswagen	2010	1248	Sim	3	Boa Proteção	Marginal	Risco	Pobre	- Estruturas perigosas na região dos joelhos; - Alto nível de deslocamento dos pedais.
207	Compact XS	Peugeot	2010	1261	Sim	2	Sem Dados	Fraca	Pobre	Pobre	- Estruturas perigosas na região dos joelhos; - Alto nível de deslocamento dos pedais; - Ruptura da estrutura inferior do veículo; - Impacto do peito do motorista ao volante.
Palio	ELX 1.4	Fiat	2010	1276	Sim	3	Boa Proteção	Marginal	Risco	Sem Dados	- Estruturas perigosas na região dos joelhos.
Corolla	XEI	Toyota	2009	1456	Sim	4	Boa Proteção	Boa Proteção	Risco	Sem Dados	- Estruturas perigosas na região dos joelhos.
Meriva	GL Plus	Chevrolet	2009	1477	Sim	3	Boa Proteção	Sem Dados	Risco	Sem Dados	- Porta malas abriu durante o teste.
Gol	Trend	Volkswagen	2009	1216	Não	1	Risco Mortal	Fraca	Risco	Sem Dados	- Estruturas perigosas na região dos joelhos.
Palio	ELX 1.4	Fiat	2010	1231	Não	1	Risco Mortal	Fraca	Risco	Sem Dados	- Estruturas perigosas na região dos joelhos.
207	Compact XS	Peugeot	2010	1243	Não	1	Risco Mortal	Sem Dados	Pobre	Pobre	- Estruturas perigosas na região dos joelhos; - Alto nível de deslocamento dos pedais; - Ruptura da estrutura inferior do veículo; - Impacto do peito do motorista ao volante.
CK	1	Geely	2009	1263	Não	0	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	- Colapso em grande parte da carroceria do veículo, nas regiões de proteção.

* Total de 5 estrelas para pontuação máxima em segurança aos passageiros

Com os resultados do *Latin NCAP*, é possível identificar que alguns veículos sofreram falha estrutural, mostrando condições muito baixa de proteção ao ocupante, como o Peugeot 207 e o Geely CK1, e outros sofreram intrusão na região inferior das pernas do motorista, como o Peugeot 207, Geely CK1 e o Gol, mostrando uma possível falta de proteção nesta região. Também, com estes resultados, é possível entender a necessidade do teste de impacto frontal veicular com sobreposição de 40% e suas verificações estruturais do veículo, para os tipos de veículos vendidos no Brasil, já que conforme verificado pelo *Latin NCAP*, todos estes modelos, comumente vendidos no mercado latino-americano, apresentaram algum tipo de risco ao ocupante, além de que dos veículos com *Air Bag*, um deles

teve pontuação de 2 estrelas, indicando falta de proteção significativa ao ocupante, mesmo com o uso do *Air Bag*.

Para os veículos sem *Air Bag*, é de consenso, neste trabalho, que a falta deste equipamento de segurança já é solucionada pela resolução 311 do . Porém, nos casos onde houve colapso da estrutura do veículo, durante o teste, como no Geely CK1, mesmo com uso do *Air Bag*, isso não ajudaria na proteção ao ocupante (*Latin NCAP*, 2010d).

Na figura 58 é possível ver as fotos do momento do impacto dos testes realizados pelo *Latin NCAP*.



Figura 58 – Fotos do momento dos impactos dos primeiros testes de impacto frontal do *Latin NCAP*, sendo, da esquerda para direita, na primeira linha, Gol com *Air Bag*, 207 com *Air Bag* e Pálio com *Air Bag*. Na segunda linha, Corolla, Meriva e Gol sem *Air Bag*. Na terceira linha, Pálio sem *Air Bag*, 207 sem *Air Bag* e CK1 (*Latin NCAP*, 2010d).

Em 2011, o *Latin NCAP* publicou sua segunda rodada de testes de veículos, no qual foram testados o Chevrolet Celta sem *Air Bag*, o Chevrolet Corsa Classic sem *Air Bag*, o Chevrolet Cruze com *Air Bag*, o Fiat Novo Uno sem *Air Bag*, o Ford Focus Hatchback com *Air Bag*, o Ford Ka sem *Air Bag*, o Nissan March com *Air Bag*, e duas vezes o Nissan Tilda Hatch com *Air Bag* (*Latin NCAP*, 2012). Destes veículos, o Chevrolet Celta, o Chevrolet Corsa Classic, o Fiat Novo Uno, o Ford Ka e o Nissan March não suportaram o impacto e tiveram colapso nas suas estruturas de carroceria, colocando o motorista em risco, e por isso conseguindo também notas

baixas de aproveitamento de segurança (entre uma e duas estrelas) para a segurança dos passageiros dianteiros. Este fato demonstra, mais uma vez, a fragilidade dos veículos pequenos (*Latin NCAP*, 2012). Os demais veículos testados em 2011 tiveram notas melhores, já que contaram com *Air Bag* e melhores estruturas de carroceria (*Latin NCAP*, 2012).

3.3.2 Análise de pares para definição do melhor modelo de testes para o mercado brasileiro

Para sugerir um modelo de teste de impacto veicular mais adequado para o mercado brasileiro, se faz necessário o uso de uma ferramenta de comparação.

Neste estudo, ao se comparar o modelo de teste de impacto veicular frontal em barreira rígida, com sobreposição de 100%, e o teste de impacto veicular em barreira deformável, com sobreposição de 40%, por se tratar de critérios não numéricos de comparação e de diferentes tipos, uma ferramenta própria para este tipo de análise é o Processo de Hierarquia Analítica (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) ou a análise de pares.

De acordo com Li e Huang (2009), o processo de hierarquia analítica AHP, ou análise de pares, é um dos mais populares métodos comumente usados na indústria para auxiliar na seleção de alternativas. No AHP convencional desenvolvido por Saaty (1980), as comparações de pares para cada nível, com respeito ao objetivo da melhor seleção de alternativa, são conduzidas usando uma escala de nove pontos. A maior habilidade do AHP é sua habilidade inerente em lidar com intangíveis, que são predominantes em qualquer processo de tomada de decisões, como no caso apresentado neste artigo. Também, com menos cálculos matemáticos complicados e comprehensibilidade faz o AHP uma técnica ideal que pode ser empregada no processo de avaliação. O modo do AHP determina os pesos qualitativamente ao construir estruturas de decisão multiníveis e formar matrizes de comparações entre pares.

O AHP tem como característica, sua facilidade de trabalho, principalmente em lidar com situações que não estão diretamente ligados a físicos, que podem ser transformados em números para então poderem ser comparados. Esta

característica é facilmente utilizada para o processo de tomada de decisão, a que o AHP se propõe. O processo de tomada de decisão pelo AHP é um processo comparativo entre diferentes propostas. Além disso, Li et al. (2009), dizem também que isso pode ser integrado com um método de escala para considerar fatores qualitativos e quantitativos.

O primeiro passo, para a utilização do AHP, ou a análise de pares, de acordo com Albayrak e Erensal (2004 *apud* Dagdeviren; Yavuz; Kilinç, 2009), um complexo problema de decisão é estruturado como uma hierarquia. Inicialmente, o AHP quebra um complexo problema de tomada de decisão multicritério em uma hierarquia de elementos de decisão inter-relacionados (critérios, alternativas de decisão). Com o AHP, os objetivos, critérios e alternativas são arranjados em uma estrutura hierárquica, como uma árvore genealógica. A hierarquia tem pelo menos três níveis: objetivo geral do problema no topo, critérios múltiplos que definem alternativas no meio e alternativas de decisão na base.

Saaty (2008) diz que para tomada de decisão de uma maneira organizada para geração de prioridades, precisamos decompor as decisões nos passos:

1. Definir o problema e o tipo de conhecimento solicitado;
2. Estruturar a hierarquia de decisão do topo com o objetivo da decisão e, então, os objetivos de uma perspectiva clara através dos níveis intermediários (critérios dos quais elementos subseqüentes dependem) para os níveis mais baixos (que usualmente é um conjunto de alternativas);
3. Construir uma configuração de matrizes de comparação entre pares. Cada elemento em um nível mais alto é usado para comparar os elementos no nível imediatamente abaixo, com respeito a ele;
4. Usar as prioridades obtidas das comparações para os pesos das prioridades nos níveis imediatamente abaixo. Fazer isso para cada elemento. Então, para cada elemento no nível abaixo, adicionar seu valor de peso e obter sua prioridade total ou global. Continuando este processo de pesos e somas até que o final das prioridades da maioria das alternativas do nível base sejam obtidas.

O segundo passo, de acordo com Albayrak e Erensal (2004 *apud* Dagdeviren; Yavuz; Kilinç, 2009), é a comparação das alternativas e dos critérios. Uma vez que o

problema foi decomposto e a hierarquia é construída, o processo de priorização começa para determinar a importância relativa dos critérios em cada nível. O julgamento entre os pares começa do segundo nível e termina nas alternativas de nível mais baixo. Em cada nível, os critérios são comparados entre pares de acordo com os seus níveis de influência e baseados nos critérios específicos do maior nível. No AHP, Dagdeviren; Yavuz e Kilinç (2009) dizem que comparações entre múltiplos pares são baseadas em uma comparação normalizada escala de nove níveis, conforme tabela 15.

Tabela 15: Escala de nove pontos da importância e sua descrição

Definição	Intensidade da Importância
Igualmente importante	1
Moderadamente mais importante	3
Fortemente mais importante	5
Muito fortemente mais importante	7
Extremamente mais importante	9
Valores intermediários	2, 4, 6, 8

Esta mesma tabela é mostrada também por Saaty (2008), que define que esta escala de comparação é necessária para saber quantas vezes mais importante um elemento é mais que o outro, para aquele critério de avaliação definido, ao qual eles são comparados (Saaty, 2008).

Em resumo, o AHP utiliza os critérios para tomada de decisão para dar pesos de importância a cada elemento em comparação. Após definidos os pesos, os elementos são comparados um a um e após isto, o número de sucessos nas comparações entre os outros elementos, multiplicados pelo seu peso, é comparado com o mesmo número dos outros elementos. O elemento com maior número é o que melhor atende os critérios determinados.

O AHP também tem seus problemas, principalmente ligados ao alto número de comparações entre os pares e a forma arbitrária de dar pesos, em uma escala muito ampla. O elevado número de comparações pode deixar o processo, que é simples, em um processo até tedioso (Triantaphyllou, 1999), que pode afetar o resultado da análise (Dyer, 1990 *apud* Janicki; Zhai, 2011; Janicki, 2007 *apud* Janicki; Zhai, 2011; Janicki; Zhai, 2011; Koczkodaj, 1993 *apud* Janicki; Zhai, 2011).

Uma forma de resolver o problema de resolver a complexidade das comparações e a arbitrariedade das comparações é o método Análise de Pares, utilizado por Vallejos e Gomes (2004), em que é usada uma escala de poucos números (no caso três), que determinam o quanto importante, ou significativo, cada critério de avaliação é:

- 0 – Não significativo.
- 1 – Moderadamente significativo.
- 2 – Significativo.

➤ Alternativas de testes consideradas

Sendo este trabalho para determinação do melhor modelo de testes de impacto veicular frontal, dentre os disponíveis hoje, foram consideradas para a avaliação os testes de impacto frontal conforme ABNT NBR 15300-2, em barreira rígida, com sobreposição de 100%, e o teste conforme ABNT NBR 15300-3, em barreira deformável, com sobreposição de 40%, com a adição das suas uniões, com e sem o teste de trenó, como utilizado pela Austrália e Japão. Sendo então as alternativas serão classificadas como:

- a. ABNT NBR 15300-2;
- b. ABNT NBR 15300-3;
- c. ABNT NBR 15300-2 + ABNT NBR 15300-3;
- d. ABNT NBR 15300-2 + ABNT NBR 15300-3 + Teste em Trenó.

➤ Aplicação

Decisão do melhor modelo de teste se baseia no tipo de veículos utilizados no mercado brasileiro, onde:

- 76% do mercado de veículos vendidos é de veículos compactos;

- 19% do mercado de veículos vendidos é de veículos não compactos, com carroceria e chassi integrado;
- 5% do mercado de veículos vendidos é de veículos com chassi rígido separado da carroceria (FENABRAVE, 2010).

➤ Intensidade da Importância

Para a análise, será utilizado o mesmo critério de três pontos, utilizado por Vallejos e Gomes (2004).

➤ Critérios de avaliação

Os critérios de avaliação são os critérios necessários para a tomada de decisão de modelo de teste é o melhor para o mercado brasileiro. Por exemplo, já foi visto no capítulo 3, que a deformação do veículo é um item importante a ser verificado, principalmente em carros pequenos, devido à baixa rigidez, portanto este seria um critério. Outro exemplo visto também no capítulo 3, é que camionetas têm uma alta rigidez, e que se aplicado um teste com sobreposição parcial, existe a tendência de se ter um aumento na rigidez das camionetas, o que seria problemático em caso de impacto com um veículo menor, então a provável necessidade de aumentar a rigidez estrutural do veículo também é um critério.

Como mostrado por Mostafa; Digges e Montevalli (2008), que a deformação dos veículos de menor rigidez em um impacto com veículos maiores e mais rígidos é um fato crítico e que isso, por consequência, pode não só ferir os ocupantes, como dificultar sua retirada do veículo, assim como pelos resultados de Mizuno; Wani e Yonezawa (2003), mostrados no capítulo 3, foi verificada a maior propensão dos veículos pequenos de变形ar, têm-se os critérios:

1. Verificação de deformação do veículo.

2. Verificação de possibilidade de retirada e salvamento dos ocupantes do veículo.

Nos estudos de Samaha *et. al.* (2010) e de Mizuno; Wani e Yonezawa (2003), mostrados no capítulo 3, foi verificado que a maior rigidez do veículo pode trazer um aumento no valor dos critérios de ferimento do manequim de teste, ligados a desaceleração do veículo no impacto, como o HIC, e que os sistemas de retenção têm de serem feitos para trabalhar com esta menor absorção de energia de impacto do veículo na proteção dos ocupantes. Têm-se então o critério:

3. Verificação do trabalho dos sistemas de retenção.

Como levantado pelos estudos da NHTSA (2010), mostrados no capítulo 2, o teste de impacto em barreira rígida seria melhor utilizado para os padrões dos veículos americanos, pela forma com que são construídos, com alta rigidez, avaliando assim seus sistemas de retenção em um evento de alta desaceleração. Têm-se então o critério:

4. Verificação do trabalho dos sistemas de retenção em caso crítico de desaceleração.

De acordo com Buzeman, Viano e Lösund (1998), mostrados no capítulo 2, a maior freqüência de ferimentos dos ocupantes em impactos frontais estaria migrando para as regiões dos membros inferiores, conforme foram sendo adotadas medidas de proteção da cabeça e do tronco dos ocupantes. Estes ferimentos estariam acontecendo pela propagação da deformação do veículo, na região dos membros inferiores dos ocupantes do veículo. Também mostrado por Buzeman, Viano e Lösund (1998), para carros pequenos, a deformação é um item mais crítico, para a proteção do ocupante, que a desaceleração. Pelos resultados do primeiro teste de impacto veicular do *Latin NCAP* (2010d), mostrados no capítulo 3, onde alguns veículos tiveram colapso estrutural na estrutura e região de proteção dos ocupantes, tem-se como critério de avaliação:

5. Possibilidade de aplicação de deformação na região de proteção dos ocupantes do veículo.

Como descrito por Hoye (2010), mostrado no capítulo 2, no início do uso dos *Air Bags*, eles eram calibrados para abrir com a alta desaceleração do teste de impacto em barreira rígida com sobreposição de 100%, porém isto provocou acidentes, pois nem todos os acidentes reais tinham uma desaceleração alta com a utilizada na calibração do *Air Bag*, fazendo com que o *Air Bag* atingisse o ocupante com uma força muito maior que a necessária para a situação. Com isso, foi necessária a obrigatoriedade do teste em trenó, ou *sled*, para verificar se o *Air Bag* oferece perigo quando acionado em baixas desacelerações. Com isso, tem-se o critério de verificação:

6. Não necessidade de acompanhamento de teste secundário de equipamento de retenção.

Considerando que vários testes de impacto podem ser feitos por ano, a facilidade e velocidade de realização dos testes podem ter um efeito significativo na quantidade mínima de testes necessários para ter um retorno financeiro favorável para criação, ou atualização de um laboratório de testes de impacto veicular. Com isso temos o critério de avaliação:

7. Facilidade de aplicação do teste.

Com relação aos custos dos testes, sendo um teste caro, é conveniente que haja um desejo para se utilizar o teste de menor custo, pela montadora e/ou pelo governo. Por isso temos o critério de avaliação:

8. Custo do teste.

Conforme levantado pela NHTSA (2010), mostrado no capítulo 2, verificado por Mostafa; Digges e Montevalli (2008) e discutido por Samaha *et. al.* (2010), no capítulo 3, um teste que leve ao aumento da rigidez de um veículo, pode ser um risco a mais em caso de impacto com veículos menores e menos rígidos,

principalmente se colidirem com veículos tradicionalmente mais rígidos. Com isso temos o critério de avaliação:

9. A não necessidade de se aumentar a rigidez do veículo.

De acordo com Hill, Frampton e Mackay (1995), mostrado no capítulo 2, depois de um estudo sobre acidentes reais de veículos pequenos, foi verificado que mesmo nos veículos que foram atingidos em toda região frontal do veículo, de forma uniforme, não tiveram uma distribuição da força de deformação de forma uniforme pela frente do veículo, fazendo Hill, Frampton e Mackay (1995) afirmarem que um teste de impacto com sobreposição inferior a 100% poderia simular um acidente melhor que o teste de barreira com sobreposição total da frente do veículo. Com isso temos o critério de avaliação:

10. Relação do teste com situação real de impacto veicular.

Para a verificação dos ferimentos dos ocupantes, a inclusão da medição dos ferimentos de torção do pescoço e medição de ferimento na região dos membros inferiores é importante, conforme discutido pelo NHTSA (2010), mostrado no capítulo 2. Com isso temos o critério de avaliação:

11. Verificação de ferimento em todo o corpo do manequim de teste.

➤ Análise de Pares para a aplicação

O primeiro passo para a elaboração da análise de pares é a comparação entre os critérios de avaliação, para determinação do peso de importância de cada um deles:

- Critério 1 - Verificação de deformação do veículo

- o Critério 1 X Critério 2

Embora os dois critérios estejam diretamente ligados, pois os dois se referem à deformação do veículo, é de entendimento que o critério 1 é mais importante, pois antes de poder salvar o ocupante, é importante que o veículo não tenha uma deformação suficiente para ferir o ocupante do veículo.

- o Critério 1 X Critério 3

Dentre os dois critérios, o critério 3 é mais importante, pois caso o sistema de retenção não seja bem dimensionado, independente da quantidade de deformação, o ocupante irá se ferir.

- o Critério 1 X Critério 4

Como o mercado brasileiro, em sua maioria, se compõe de veículos pequenos, sem chassi separado da carroceria, sua estrutura não é rígida, indicando uma maior tendência de desaceleração regular, em caso de impacto. Por isso o critério 1 é mais importante.

- o Critério 1 X Critério 5

Embora os dois critérios estejam ligados, se entende que a verificação da deformação específica na região dos ocupantes é mais importante.

- o Critério 1 X Critério 6

Como a deformação é um critério que liga diretamente o estado do ocupante após o acidente, o critério 1 é mais importante.

- Critério 1 X Critério 7

Assim como a comparação com o critério 6, a deformação é um critério que liga diretamente o estado do ocupante após o acidente, o critério 1 é mais importante.

- Critério 1 X Critério 8

Assim como a comparação com o critério 6 e 7, a deformação é um critério que liga diretamente o estado do ocupante após o acidente, o critério 1 é mais importante.

- Critério 1 X Critério 9

O aumento da rigidez do veículo pode provocar uma alta deformação no outro veículo, em caso de impacto, trazendo risco ao ocupante do outro veículo. O critério 9 é mais importante.

- Critério 1 X Critério 10

Embora a deformação do veículo seja o critério mais crítico nos impactos dos veículos pequenos (Buzeman; Viano; Lösund, 1998), entende-se que o teste tem

que simular a condição real de uma colisão como sendo mais importante, embora, mais uma vez, estejam diretamente ligados.

- o Critério 1 X Critério 11

Mesmo que se verifique a condição total do ocupante durante o evento de um impacto veicular, se a estrutura do veículo não se mantiver íntegra, entende-se que a medição total no corpo do manequim de teste apenas irá confirmar a alta deformação do veículo. Entende-se que o teste com a verificação da integridade estrutural do veículo é mais importante e vem antes da necessidade total da medição de ferimento do manequim de teste.

- Critério 2 - Verificação de possibilidade de retirada e salvamento dos ocupantes do veículo

- o Critério 2 X Critério 3

Como na comparação do Critério 1 X Critério 3, dentre os dois critérios, o critério 3 é mais importante, pois caso o sistema de retenção não seja bem dimensionado, independente da quantidade de deformação, o ocupante irá se ferir, antes de ser resgatado.

- o Critério 2 X Critério 4

Assim como a comparação do Critério 1 X Critério 4, como o mercado brasileiro, em sua maioria, se compõe de veículos pequenos, sem chassi separado

da carroceria, sua estrutura não é rígida, indicando uma maior tendência de desaceleração regular, em caso de impacto. Por isso o Critério 2 é mais importante.

- Critério 2 X Critério 5

Como na comparação do Critério 2 X Critério 5, embora os dois critérios estejam ligados, se entende que a verificação da deformação específica na região dos ocupantes é mais importante. O Critério 5 é mais importante.

- Critério 2 X Critério 6

Como o salvamento e retirada dos ocupantes é um critério que liga diretamente o estado do ocupante após o acidente, o critério 2 é mais importante.

- Critério 2 X Critério 7

Assim como a comparação com o Critério 6, salvamento e retirada dos ocupantes é um critério que liga diretamente o estado do ocupante após o acidente, o critério 2 é mais importante.

- Critério 2 X Critério 8

Assim como a comparação com o critério 6 e 7, salvamento e retirada dos ocupantes é um critério que liga diretamente o estado do ocupante após o acidente, o critério 2 é mais importante.

- o Critério 2 X Critério 9

O aumento da rigidez do veículo pode provocar uma alta deformação no outro veículo, em caso de impacto, trazendo risco ao ocupante do outro veículo. O critério 9 é mais importante.

- o Critério 2 X Critério 10

Embora o salvamento e retirada dos ocupantes seja um critério mais crítico nos impactos dos veículos pequenos (Buzeman; Viano; Lösund, 1998), entende-se que o teste tem que simular a condição real de uma colisão como sendo mais importante, embora, mais uma vez, estejam diretamente ligados.

- o Critério 2 X Critério 11

Mesmo que se verifique a condição total do ocupante durante o evento de um impacto veicular, se a estrutura do veículo não se mantiver íntegra, permitindo a salvação dos ocupantes, entende-se que a medição total no corpo do manequim de teste apenas irá confirmar a alta deformação do veículo. Entende-se que o teste com a verificação da integridade estrutural do veículo é mais importante e vem antes da necessidade total da medição de ferimento do manequim de teste.

- Critério 3 - Verificação do trabalho dos sistemas de retenção

- o Critério 3 X Critério 4

Assim como a comparação do Critério 1 X Critério 4 e Critério 2 X Critério 4, como o mercado brasileiro, em sua maioria, se compõe de veículos pequenos, sem chassi separado da carroceria, sua estrutura não é rígida, indicando uma maior tendência de desaceleração regular, em caso de impacto. Por isso o Critério 3 é mais importante.

- Critério 3 X Critério 5

Para os tipos de veículos mais vendidos no Brasil, temos que a deformação na região do ocupante como caso crítico. O Critério 5 é mais importante.

- Critério 3 X Critério 6

Como o correto funcionamento dos sistemas de retenção do veículo é um critério que liga diretamente a proteção do ocupante durante o acidente, o critério 3 é mais importante.

- Critério 3 X Critério 7

Como o correto funcionamento dos sistemas de retenção do veículo é um critério que liga diretamente a proteção do ocupante durante o acidente, o critério 3 é mais importante, assim como no Critério 6.

- Critério 3 X Critério 8

Como o correto funcionamento dos sistemas de retenção do veículo é um critério que liga diretamente a proteção do ocupante durante o acidente, o critério 3 é mais importante, assim como nos Critérios 6 e 7.

- Critério 3 X Critério 9

Como o correto funcionamento dos sistemas de retenção do veículo é um critério que liga diretamente a proteção do ocupante durante o acidente, o critério 3 é mais importante.

- Critério 3 X Critério 10

Entende-se que o teste tem que simular a condição real de uma colisão como sendo mais importante. Com isso o teste de verificação do sistema de retenção poderia, inclusive, ser melhor avaliado.

- Critério 3 X Critério 11

Como o sistema de retenção está mais ligado ao salvamento do ocupante que a própria verificação de ferimento do manequim de teste, entende-se que o Critério 3 é mais importante.

- Critério 4 - Verificação do trabalho dos sistemas de retenção em caso crítico de desaceleração

- o Critério 4 X Critério 5

Para os tipos de veículos mais vendidos no Brasil, temos que a deformação na região do ocupante como caso crítico. O Critério 5 é mais importante.

- o Critério 4 X Critério 6

Mesmo sendo em caso crítico, o funcionamento dos sistemas de retenção do veículo é um critério que liga diretamente a proteção do ocupante durante o acidente, o critério 4 é mais importante.

- o Critério 4 X Critério 7

Como o funcionamento dos sistemas de retenção do veículo é um critério que liga diretamente a proteção do ocupante durante o acidente, o Critério 4 é mais importante, assim como quando comparado ao Critério 6.

- o Critério 4 X Critério 8

Como o funcionamento dos sistemas de retenção do veículo é um critério que liga diretamente a proteção do ocupante durante o acidente, o critério 4 é mais importante, assim como quando comparado aos Critérios 6 e 7.

- o Critério 4 X Critério 9

O aumento de rigidez é um fator que pode afetar a integridade do veículo ao qual o veículo é colidido. Na maioria dos veículos vendidos no Brasil, o uso dos sistemas de retenção, em caso crítico de desaceleração, não é solicitado, por serem veículos com menor rigidez estrutural.

- o Critério 4 X Critério 10

Entende-se que o teste tem que simular a condição real de uma colisão como sendo mais importante. Com isso o teste de verificação do sistema de retenção poderia, inclusive, ser melhor avaliado.

- o Critério 4 X Critério 11

Como a medição de ferimentos em todo o corpo do manequim está mais ligada à deformação do veículo, que é o caso crítico da maioria dos veículos vendidos no Brasil, o Critério 11 é mais importante.

- Critério 5 - Possibilidade de aplicação de deformação na região de proteção dos ocupantes do veículo

- o Critério 5 X Critério 6

A deformação é um caso mais crítico para os veículos vendidos no Brasil, que os impactos da necessidade de um teste secundário. O Critério 5 é mais importante.

- o Critério 5 X Critério 7

A deformação é um item diretamente ligado aos modelos de veículo mais vendidos no Brasil. Este Critério é mais importe que a facilidade de aplicação do teste. O Critério 5 é mais importante.

- o Critério 5 X Critério 8

A deformação é um item diretamente ligado aos modelos de veículo mais vendidos no Brasil. Este Critério é mais importe que o custo em se fazer o teste. O Critério 5 é mais importante.

- o Critério 5 X Critério 9

Sendo a deformação dos veículos um dos casos críticos dos veículos mais vendidos no Brasil e sendo o tipo de veículo mais vendido no Brasil tradicionalmente menos rígido, o Critério 5 é mais importante que a possibilidade de aumento da rigidez de veículos tradicionalmente menos rígidos.

- o Critério 5 X Critério 10

Entende-se que o teste tem que simular a condição real de uma colisão como sendo mais importante, embora isso indique, no caso da maioria dos veículos vendidos no Brasil, que a deformação é o critério mais importe. Embora esta seja uma pouca margem de mais importância, o Critério 10 é mais importante.

- o Critério 5 X Critério 11

Como a deformação é o caso mais crítico do tipo de veículo mais vendido no Brasil, o Critério 5 é mais importante.

- Critério 6 - Não necessidade de acompanhamento de teste secundário de equipamento de retenção.

- o Critério 6 X Critério 7

Este dois Critérios estão diretamente ligados, pois se não há a necessidade do teste, a verificação para à ser mais fácil. Como a facilidade de aplicação do teste pode ter outros fatores, além da realização de um possível teste à mais, o Critério 7 é mais importante.

- o Critério 6 X Critério 8

Embora estes dois critérios também estejam ligados, a não realização do teste melhora não só em custo do teste, mas também na facilidade de realização. O Critério 6 é mais importante.

- o Critério 6 X Critério 9

Sendo o aumento de rigidez um fator que afeta diretamente o resultado da deformação do veículo ao qual o veículo em questão colide, o Critério 9 é mais importante.

- o Critério 6 X Critério 10

Entende-se que um teste que simula a condição real do veículo é o primeiro passo para se melhorar o projeto dos veículos, e que o aumento da rigidez ocorrerá apenas se os resultados dos testes determinarem esta necessidade. O Critério 10 é mais importante.

- o Critério 6 X Critério 11

Como a deformação do veículo, e quanto isto afeta os ocupantes, é medido pelos pontos de medição mais completos dos manequins de teste, o Critério 11 é mais importante.

- Critério 7 - Facilidade de aplicação do teste.

- o Critério 7 X Critério 8

Na comparação entre estes dois critérios, pode-se entender que a facilidade, ou dificuldade, de realização do teste esteja ligada ao custo, como por exemplo, a necessidade de carga horária maior, ou um profissional mais qualificado. Neste caso, o critério 8 é mais importante, pois também inclui as diferenciações de equipamento e instalação.

- o Critério 7 X Critério 9

Sendo o aumento de rigidez um fator que afeta diretamente o resultado da deformação do veículo ao qual o veículo em questão colide, o Critério 9 é mais importante.

- Critério 7 X Critério 10

Entende-se que um teste que simula a condição real do veículo é o primeiro passo para se melhorar o projeto dos veículos. O Critério 10 é mais importante.

- Critério 7 X Critério 11

Como a deformação do veículo, e o quanto que isto afeta os ocupantes, é medido pelos pontos de medição mais completos dos manequins de teste, o Critério 11 é mais importante.

- Critério 8 - Custo do teste.

- Critério 8 X Critério 9

Sendo o aumento de rigidez um fator que afeta diretamente o resultado da deformação do veículo ao qual o veículo em questão colide, o Critério 9 é mais importante.

- Critério 8 X Critério 10

Entende-se que um teste que simula a condição real do veículo é o primeiro passo para se melhorar o projeto dos veículos. O Critério 10 é mais importante.

- Critério 8 X Critério 11

Como a deformação do veículo, e o quanto que isto afeta os ocupantes, é medido pelos pontos de medição mais completos dos manequins de teste, o Critério 11 é mais importante.

- Critério 9 - A não necessidade de se aumentar a rigidez do veículo.

- Critério 9 X Critério 10

Entende-se que um teste que simula a condição real do veículo é o primeiro passo para se melhorar o projeto dos veículos. O Critério 10 é mais importante.

- Critério 9 X Critério 11

Como a deformação do veículo, e o quanto que isto afeta os ocupantes, é medido pelos pontos de medição mais completos dos manequins de teste, o Critério 11 é mais importante.

- Critério 10 - Relação do teste com situação real de impacto veicular X Critério 11 - Verificação de ferimento em todo o corpo do manequim de teste.

Entende-se que um teste que simula a condição real do veículo é o primeiro passo para se melhorar o projeto dos veículos. O Critério 10 é mais importante, já que ele irá indicar os pontos de medição dos ferimentos.

Com todas as comparações feitas, temos a tabela 16, com todos os resultados de maior prioridade obtidos. Esta tabela mostra os resultados obtidos de acordo e apoiado pelos tipos e porcentagens de venda dos veículos comercializados no Brasil.

Tabela 16 – Análise comparativa entre os critérios

# CRITERIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Verificação de deformação do veículo										
2 Verificação de possibilidade de retirada e salvamento dos ocupantes do veículo	1									
3 Verificação do trabalho dos sistemas de retenção durante o impacto	3	3								
4 Verificação do trabalho dos sistemas de retenção em caso crítico de impacto	1	2	3							
5 Possibilidade de aplicação de deformação na região de proteção dos ocupantes do veículo	5	5	5	5						
6 Não necessidade de acompanhamento de teste secundário de equipamento de retenção	1	2	3	4	5					
7 Facilidade de aplicação do teste	1	2	3	4	5	7				
8 Custo do teste	1	2	3	4	5	6	8			
9 A não provável necessidade de se aumentar a rigidez do veículo	9	9	3	9	5	9	9	9		
10 Relação do teste com situação real de impacto veicular	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
11 Verificação de ferimento em todo o corpo do manequim de teste	1	2	3	11	5	11	11	11	11	10

Aplicando-se o número de aparições de cada critério à eq. 18 (Vallejos; Gomes, 2007), é possível obter o peso de cada critério.

$$W_i = \text{arred}\left[4 * \frac{(N_i - N_{\min})}{(N_{\max} - N_{\min})} + 1\right] \quad (\text{Eq. 18})$$

Onde:

- W_i - Peso calculado de cada critério;
- *arred* - Função para o arredondamento do número para o valor acima,

sem casa decimal;

- N_i - Número de aparições de cada critério;
- N_{\min} - Número mínimo de aparições entre todos os critérios;
- N_{\max} - Número máximo de aparições entre todos os critérios.

Aos resultados observados na tabela 16, calculados pela eq. 18 e aplicando-se a Intensidade da Importância para cada um dos 11 critérios, comparados às alternativas, classificou-se o grau de utilização de cada critério, de forma a obter a análise comparativa de cada alternativa, conforme tabela 17.

Tabela 17 – Aplicação do peso e grau de utilização a cada alternativa

Critério	Citações	Peso	Solução "Ouro"	Alternativa "a"		Alternativa "b"		Alternativa "c"		Alternativa "d"	
				Intensidade da Importância	Peso *Grau	Intensidade da Importância	Peso *Grau	Intensidade da Importância	Peso *Grau	Intensidade da Importância	Peso *Grau
1	6	3	6	1	3	2	6	2	6	2	6
2	5	3	6	0	0	2	6	2	6	2	6
3	8	4	8	2	8	1	4	2	8	2	8
4	3	2	4	2	4	0	0	2	4	2	4
5	9	5	10	1	5	2	10	2	10	2	10
6	1	1	2	0	0	2	2	0	0	2	2
7	7	4	8	1	4	1	4	0	0	0	0
8	1	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0
9	6	3	6	2	6	2	6	2	6	2	6
10	10	5	10	0	0	2	10	2	10	2	10
11	5	3	6	0	0	2	6	2	6	2	6
Total		68	Total		31	Total		55	Total		56
K_{tech}		5	K_{tech}		2,28	K_{tech}		4,04	K_{tech}		4,12
											4,26

Por fim, os valores totais de cada alternativa são aplicados à eq. 19 (Vallejos; Gomes, 2007), de modo a obter o fator tecnológico, ou fator de melhoria, para comparação e decisão das alternativas.

$$K_{tech} = 5 * \frac{\sum Peso * Grau(alt_i)}{\sum Peso * Grau("ouro")} \quad (\text{Eq. 19})$$

Onde:

- K_{tech} - Fator tecnológico, ou fator de melhoria;
- alt_i - Alternativa em estudo;
- “ouro” - Ou Solução “Ouro” é a alternativa simulada considerando todos os valores de Intensidade da Importância máximo.

➤ Resultados

Aplicando-se a eq. 19, tem-se para as alternativas:

- “a” → $K_{tech} = 2,28$;
- “b” → $K_{tech} = 4,04$;
- “c” → $K_{tech} = 4,12$;
- “d” → $K_{tech} = \underline{4,26}$.

Destes resultados, pode-se concluir que a melhor opção disponível de teste de impacto frontal, pela Resolução 221 do CONTRAN, para o mercado brasileiro, com as informações disponíveis atualmente, é o teste da alternativa “b” - ABNT NBR 15300-3, com o teste de impacto em barreira deformável e sobreposição de 40%, porém seria ainda melhor se fosse possível a utilização dos dois testes ABNT NBR 15300-2 e o teste ABNT NBR 15300-3, acompanhado do teste em trenó do *Air Bag*, conforme a alternativa “d”.

3.4 Conclusões do Capítulo

Neste capítulo foi possível verificar através da análise de pares, que o modelo de teste ABNT NBR 15300-3 junto com o teste ABNT NBR 15300-2 e o teste em trenó para o *Air Bag*, com barreira de impacto rígida e barreira deformável com sobreposição de 40% da largura do veículo, é o mais adequado às necessidades do mercado brasileiro, de acordo com todas as informações que temos hoje disponíveis. Porém, como a Resolução 221 do exige apenas um dos testes a ser escolhido (, 2007), neste caso, o melhor teste seria o teste de acordo com a norma ABNT NBR 15300-3, com barreira de impacto deformável com sobreposição de 40% da largura do veículo.

Verificando as análises prévias de Samaha et. al. (2010), de que os veículos tendem a ficar mais rígidos para protegerem os ocupantes, no teste de impacto frontal com sobreposição de 40% e barreira deformável, as análises de Mostafa et.

al. (2008) e Saunders *et. al.* (2008) demonstram a maior rigidez das camionetas e alguns utilitários esportivos estes que são pouco compatíveis em um impacto frontal com outros veículos, principalmente os menores. As análises de Mizuno; Wani e Yonezawa (2003) e de Samaha *et. al.* (2010) que demonstram que o aumento da desaceleração, causada pelo aumento da rigidez frontal do veículo, proveniente da necessidade do veículo ser compatível com o teste de impacto frontal, em barreira deformável, com sobreposição de 40%, pode ser contornada pelos sistemas de retenção dos ocupantes, assim como as análises de Mizuno; Wani e Yonezawa (2003) e Mostafa; Digges e Montevalli (2008) que demonstram que os veículos menores são os mais propícios a terem a região de proteção dos ocupantes invadida em caso de impacto frontal, principalmente com veículos muito maiores, é possível afirmar que o teste de impacto frontal com barreira deformável e sobreposição de 40% também seria considerada a melhor forma de teste. Também, os veículos compactos possuem boa característica de absorção de energia de impacto, para uma desaceleração bem gradual, o que em um teste de impacto frontal em barreira rígida com sobreposição total do veículo, não seria um caso crítico de teste. Além disso, como descrito por Buzeman, Viano e Lösund (1998) e mostrado no capítulo 2, a deformação é mais perigosa que a desaceleração, como critério de ferimento dos ocupantes, sendo também este critério de deformação muito melhor identificado no teste ABNT NBR 15300-3.

Sendo a larga maioria dos veículos vendidos no Estado da Bahia e no Brasil, carros pequenos (FENABRAVE, 2010), o teste de impacto com barreira rígida e sobreposição de 100% (ABNT NBR 15300-2) não verifica a condição mais crítica, ou pior caso, para o mercado brasileiro. Desta forma, o teste mais indicado para o mercado brasileiro é o ABNT NBR 15300-3, embora a união dos dois testes se mostrou uma variante ainda melhor.

Como levantado por Hoye (2010) e mostrado no capítulo 2, o teste de impacto frontal com barreira de impacto rígida e sobreposição de 100% da largura do veículo precisaria ser acompanhada do teste em sled para verificação e correta calibração de velocidade de abertura do *Air Bag* durante impactos, principalmente a baixas velocidades, evitando assim que a velocidade de ataque do *Air Bag* contra a cabeça do motorista seja muito maior e incompatível com a velocidade de ataque da cabeça do passageiro no *Air Bag* causando ferimentos graves e possível morte, deve-se observar principalmente em pessoas de biótipo pequeno (baixa estatura), evitando

também o aumento do número de mortes com o uso de *Air Bag*, ao invés de sua redução, como também descrito por Hoye (2010).

O teste de impacto ABNT NBR 15300-2, teste de impacto frontal com barreira rígida e sobreposição de 100% da largura do veículo, não descreve o teste de *sled*, ou trenó, como parte da homologação do veículo ou desta norma, o que poderia trazer o problema de ferimento do ocupante à baixa velocidade, devida a má calibração da velocidade de abertura do *Air Bag*. Também, como descrito por Hill, Frampton e Mackay (1995) e mostrado no capítulo 2, mesmo quando um veículo tem um impacto frontal, perpendicularmente, que utilize toda a largura da frente, as forças de deformação são distribuídas de forma não uniforme pela frente do veículo, diferentemente do teste de impacto frontal em barreira rígida e sobreposição de 100% (ABNT NBR 15300-2) onde a força do impacto é distribuída igualmente por toda a frente do veículo. Portanto, mesmo quando o impacto no veículo tenha uma sobreposição de 100%, o teste mais adequado verificação deste acontecimento ainda é o teste de impacto em barreira deformável e sobreposição de 40%, pelo fato de fazer a verificação com forças desiguais na frete do veículo.

Com análise de pares foi possível verificar que a realização dos dois testes de impacto (ABNT NBR 15300-2 e -3), mais o teste de *sled* (trenó), traz uma vantagem geral, quando comparado a utilização apenas do teste ABNT NBR 15300-3, mesmo considerando-se os impactos nos custos e complexidade e dificuldades de realização e mesmo considerando as poucas vantagens diretas da realização do teste ABNT NBR 15300-2, para os modelos de veículos mais vendidos no Brasil.

4 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A ATUALIZAÇÃO DO LABORATÓRIO DE TESTES DE IMPACTO FRONTAL, NO BRASIL, PARA ATENDER AS NOVAS NORMAS ABNT NBR 15300 -1/2/3

Para montar um laboratório de impacto veicular, que atenda a nova norma ABNT NBR 15300-3, de teste de impacto veicular com barreira deformável e sobreposição de 40% além da norma ABNT 15300-1 de verificação dos critérios biomecânicos e a norma ABNT NBR 15300-2, de teste de impacto veicular em barreira rígida, com sobreposição de 100%, seriam necessárias a instalação e disponibilidade de todo equipamento no qual o laboratório que atende a CONTRAN 463 não possui, ou possui, mas não atende as novas normas. Por isso tomaremos como premissas, para este estudo de viabilidade, que:

- A pista de teste do laboratório, que atende a CONTRAN 463, é apta à nova norma;
- O equipamento de reboque do veículo, por cabo, acionado por motor elétrico, com controle de velocidade, atende às necessidades das novas normas;
- A barreira de impacto está plenamente de acordo com a ABNT NBR 15300-2;
- O equipamento de medição de aceleração veicular atende às novas normas;
- As câmeras externas atendem às novas normas;
- Os equipamentos de acionamento dos sistemas eletrônicos atendem às novas normas;
- O equipamento de medição de velocidade atende à nova norma;
- As pessoas que hoje trabalham já com o modelo de testes atual seriam suficientes para trabalhar nos novos modelos de teste.

Este estudo de viabilidade financeira irá propor a atualização do laboratório de impacto frontal para estar conforme as normas ABNT NBR 15300-2 e ABNT NBR 15300-3, porque o teste conforme ABNT NBR 15300-3 é o mais indicado, por este estudo, para homologação de veículos no Brasil. A norma ABNT NBR 15300-2 possui os mesmos físicos (área física, barreira de impacto e sistema de aceleração do veículo) do laboratório de impacto da atual Resolução 463. Para medição do deslocamento da coluna de direção, e os equipamentos de instrumentação para

validação dos critérios biomecânicos são os mesmos, conforme ABNT NBR 15300-1, com exceção da instrumentação inferior da perna do manequim de teste. Com estas semelhanças há que se estudar a alteração do laboratório para as duas formas de teste, a fim de conseguir uma flexibilidade de teste maior, além de manter o laboratório apto à realização de testes de impacto para estudo de desenvolvimento.

4.1 Laboratório de Testes

Esta seção irá mostrar os equipamentos necessários e o custo para a montagem e atualização do laboratório de teste de impacto.

4.1.1 Manequins de teste

Para atender as normas ABNT NBR 15300-1/2, 2 manequins de teste, modelo Hybrid III, de percentil 50 masculino, são necessários. Ele está descrito e mostrado no anexo D deste estudo. A figura 59. ilustra o manequim de teste.



Figura 59. – Manequim de Teste, modelo Hybrid III 50% Masculino
(Denton, 2004)

Por causa do tipo de severidade do teste, um conjunto com algumas peças extras do manequim do teste também são necessários, para a pronta substituição. Este conjunto seria composto de:

- Pele da cabeça do boneco;
- pescoço moldado;
- 1 bloco da cabeça;
- 2 cabos de conexão com o pescoço;
- cobertura do peito;
- 1 conjunto de costelas completo;
- 1 suporte do acelerômetro do peito;
- 1 limitador moldado de flexão do torso;
- 1 conjunto transdutor de deflexão do peito;
- 1 transdutor do braço; 1 transdutor da junção do braço; 1 conector do transdutor do braço; 1 suporte do potenciômetro sem mancal;
- 1 potenciômetro rotacional de deflexão do peito;

- 1 faixa lombar; 1 conjunto da coluna lombar; 1 coluna lombar moldada estática;
- 1 bucha da parte superior do pescoço; 1 bucha da parte inferior do pescoço;
- 1 cabo de conexão lombar;
- 1 conjunto completo de pélvis; 1 pélvis moldada;
- 1 “carne e pele” de joelho; 1 inserto de “carne” do joelho;
- 1 kit de pequenas peças, como porcas e parafusos.

No caso de teste com a norma ABNT NBR 15300-3, em teste com impacto em barreira deformável com sobreposição de 40%, os manequins de teste seguem o mesmo princípio e modelo do teste ABNT NBR 15300-2, porém com instrumentação na parte inferior das pernas.

Por causa do tipo de severidade do teste, como peça de reposição rápida, além dos itens já ditos para os manequins do teste ABNT NBR 15300-2, para os manequins do teste ABNT NBR 15300-3 deverão ter como reposição, 2 conjuntos completos inferior, das pernas.

4.1.1.1 Custo dos manequins de teste

Em trabalho de cotação prévia, foi levantada a ordem de grandeza do custo do manequim de teste, modelo Hybrid III, sendo este valor de ordem de grandeza de U\$150.000,00 para o modelo sem instrumentação na parte inferior das pernas. Para o modelo com instrumentação inferior das pernas, o valor de ordem de grandeza do custo foi de U\$200.000,00, já considerando os dois modelos importados com suas taxas de importação.

Para os manequins de teste, também devem ser consideradas as peças de reposição que têm a ordem de grandeza do custo de U\$28.000,00, para o modelo sem instrumentação inferior das pernas (para o teste de acordo com a ABNT NBR 15300-2) e para o modelo com instrumentação inferior das pernas (para o teste de acordo com a ABNT NBR 15300-3). As taxas de importação estão incluídas neste valor.

Levando em conta que também haverá a necessidade de 2 manequins de teste do modelo sem instrumentação inferior das pernas, e 2 manequins com instrumentação inferior das pernas, mais os seus conjuntos de peças de reposição, teremos uma ordem de grandeza de custo total de U\$750.000,00.

4.1.2 Laboratório de calibração dos manequins de teste

Para atender a norma dos manequins de teste 49 CRF parte 572, página 38, os manequins de teste precisam ser calibrados (49 CRF parte 572, 2009). Para cada parte do corpo do manequim de testes é necessário um tipo de calibração diferente.

4.1.2.1 Teste de queda da cabeça

O teste funciona levantando-se o conjunto da cabeça por um sistema leve de içamento a cabo. Um parafuso de ajuste permite o ajuste fino da posição da cabeça. O conjunto da cabeça é solto em uma chapa de aço de 2 polegadas (50,8mm) de espessura (49 CRF parte 572, 2009).

O mecanismo de soltura consiste de um eletro-imã e uma chapa de aço. Um sistema de gatilho opcional de emissão e recepção de infravermelho pode ser usado como gatilho de um sistema de coleta de dados. Uma travessa de fixação ajustável permite que a altura de soltura possa ser ajustada entre 6 e 34 polegadas (152,4 e 863,6mm), da chapa de impacto (49 CRF parte 572, 2009). A figura 60. ilustra o equipamento utilizado no teste.

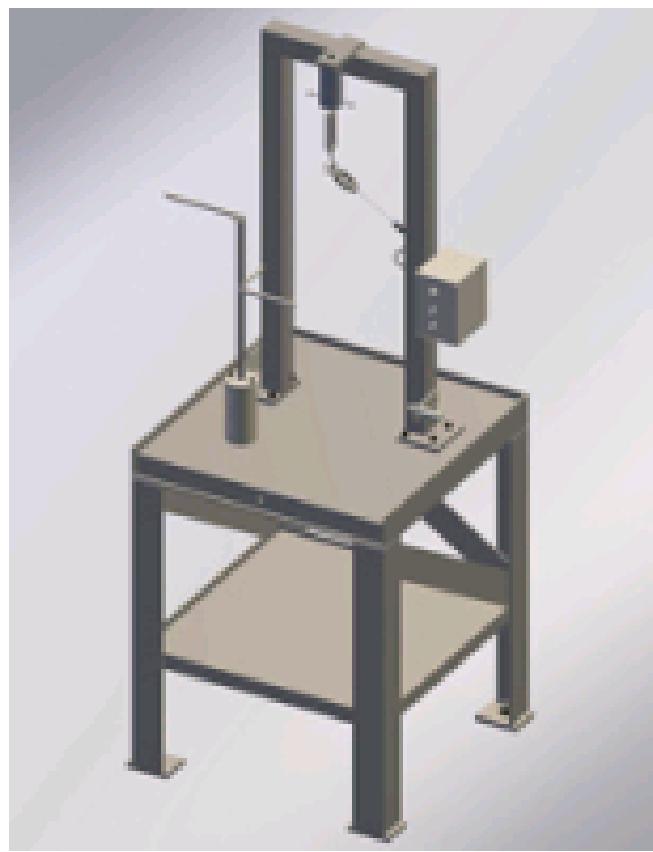


Figura 60 – Equipamento para Teste de Queda da Cabeça do Manequim de Teste (HUMANETICS, 2011c)

O equipamento padrão para a calibração é:

- Travessa inferior de aço soldada;
- chapa de impacto, banhado a cromo, de 50.8mm, conforme 49 CRF parte 572;
- travessa de Suspensão do conjunto cabeça;
- sistema de soltura magnético;
- inclinômetro mecânico;
- indicador de altura para os manequins da família *Hybrid III*;
- verificador de inclinação fixa, de bolha;
- instrumentação: 3 acelerômetros de um eixo; 1 acelerômetro de 3 eixos; gatilho;
- equipamento de 6 canais para coleta de dados (49 CRF parte 572, 2009).

4.1.2.2 Teste do pêndulo

O teste do pêndulo, do pescoço, consiste em liberar um pêndulo com o conjunto cabeça mais pescoço, montados na ponta do pêndulo pelo pescoço, até atingir uma dada velocidade de impacto. Uma estrutura de alumínio é usada para garantir uma curva de aceleração específica. Esta medida de velocidade é feita por algum dispositivo de medição, no caso, por um medidor de velocidade por infravermelho. A base de impacto é de alumínio, com forma de estrutura de colméia de abelha. Este equipamento de teste serve para realizar 2 testes, o de flexão e distensão do pescoço (49 CRF parte 572, 2009). A figura 61 ilustra o equipamento para realização do teste.



Figura 61 – Equipamento de Teste do Pendulo (HUMANETICS, 2011d)

O equipamento é composto por:

- Uma estrutura em treliça;
- um conjunto de pêndulo, conforme 49 CRF parte 572 (2009);
- um dispositivo fim de curso estrutural (alumínio em colméia de abelha);

- medidor de velocidade por infravermelho;
- indicador de ângulo, mecânico;
- torquímetro;
- unidade de calibração para os potenciômetros;
- dispositivo para remoção do pino ‘medular’;
- tesoura;
- cabo com 3 vias para medir as forças;
- cabo com 6 vias para medir as forças (49 CRF parte 572, 2009).

4.1.2.3 Teste de impacto no peito

O teste de impacto é feito para co-relacionar o impacto recebido no peito do manequim de teste com o resultado gerado (49 CRF parte 572, 2009).

O sistema é composto por: uma mesa de apoio do manequim, estrutura de treliça sustentadora, cabos sustentadores e uma massa de impacto (49 CRF parte 572, 2009). A figura 62. ilustra o equipamento de teste de impacto no peito.



Figura 62 – Equipamento para Realização do Teste de Impacto no Peito do Manequim de Teste
(HUMANETICS, 2011e)

O sistema é composto por:

- Estrutura de treliça;
- mesa com ajuste de altura por sistema hidráulico, com topo em aço inox;
- fixador de cabo com engate rápido;
- conjunto mecânico de ângulo da pélvis;
- sistema de medição de velocidade;
- rede para restrição de escorregamento do manequim;
- indicador de ângulo, mecânico;
- medidor de nível, de bolha (49 CRF parte 572, 2009).

4.1.2.4 Teste de Impacto no joelho

Este teste é feito para calibrar a resposta do manequim, ao impacto no joelho. No sistema, a perna completa do manequim é fixada em uma massa de impacto, suspenso por cabos é liberada para atingir o joelho (49 CRF parte 572, 2009).

Para o teste, o impactor é levantado até a sua posição de liberação e fixado. Então o impactor é liberado por gatilho contra o joelho. Enquanto cai, a velocidade é medida com um medidor de velocidade de infravermelho (49 CRF parte 572, 2009). A figura 63. ilustra o equipamento para realização do Teste de Impacto no Joelho.



Figura 63. – Equipamento para Realização do Teste de Impacto no Joelho do Manequim de Teste
(HUMANETICS, 2011f)

O sistema é composto por:

- estrutura de Treliça;
- uma estrutura em A, para base de impacto;
- um adaptador para a montagem do joelho;
- cabos e fixadores;
- sistema de liberação;
- sistema de medição de velocidade, por infravermelho;
- nível, de bolha (49 CRF parte 572, 2009).

4.1.2.5 Teste de flexão na junção pélvis-fêmur

Este teste é feito para calibrar a flexão do osso da pélvis do manequim, quando solicitado pelo(s) fêmur(s) (49 CRF parte 572, 2009).

Esta estrutura é composta por:

- conjunto de montagem e braço de momento para o manequim de teste;
- célula de carga;
- inclinômetro (2) (49 CRF parte 572, 2009).

A figura 64. ilustra o equipamento para realização do teste.

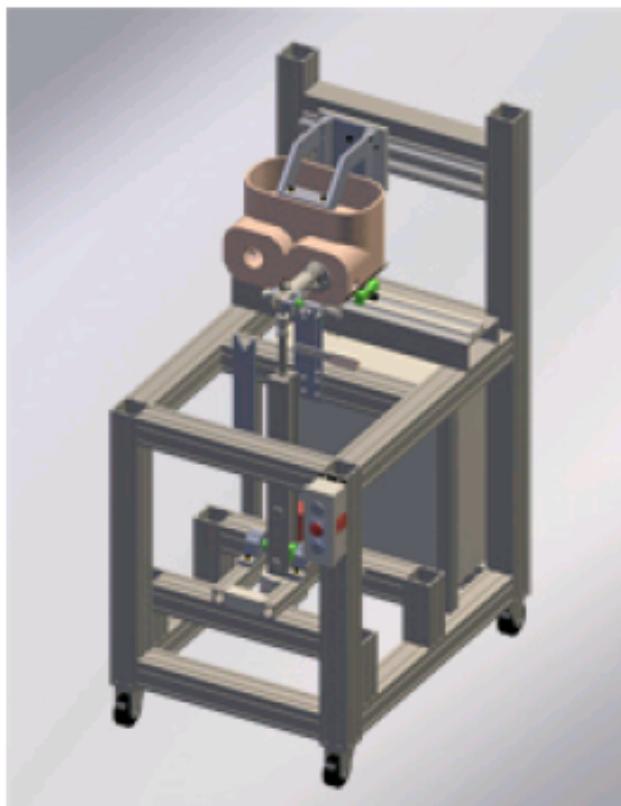


Figura 64 – Equipamento para Realização do Teste de Flexão da Junção Pélvis-Fêmur
(HUMANETICS, 2011g)

4.1.2.6 Teste da parte inferior das pernas

Para atender os testes de impacto frontal, com sobreposição de 40% em barreira deformável, as pernas instrumentadas dos manequins de teste são calibradas para sua correta resposta de sinal, quando solicitadas (96/79/EC, 2000).

O mesmo equipamento faz 3 testes:

- Impacto na sola da ponta dos pés.
- Impacto no calcanhar, sem sapato.
- Impacto no calcanhar, com sapato (96/79/EC, 2000).

A figura 65 ilustra o equipamento para realização dos testes.



Figura 65 – Equipamento para Realização dos Testes da Parte Inferior da Perna (HUMANETICS, 2011h)

4.1.2.7 Custos do laboratório de calibração

Em trabalho de cotação prévia, foram levantados os valores de ordem de grandeza para a montagem do laboratório. Esta cotação envolveu todos os itens necessários para as calibrações dos manequins de teste, incluindo os equipamentos, as instrumentações, o treinamento inicial, os sistemas de aquisição de dados, computador móvel (notebook). Para isto, a ordem de grandeza do custo foi de U\$500.000,00.

Para a estrutura física da construção do laboratório de calibração, considera-se uma construção com temperatura e umidade controlada, com 100 m² e 6,5 m de altura do teto. A ordem de grandeza deste custo é de U\$200.000,00.

4.1.3 Equipamentos para teste

Esta seção irá mostrar todos os equipamentos necessários para serem incluídos na atualização do laboratório de impacto frontal, para a realização dos testes conforme as normas ABNT NBR 15300-1/2/3.

4.1.3.1 Câmera interna

Considerando a necessidade de se avaliar os movimentos dos manequins de teste durante o impacto, foi levantada a ordem de grandeza do custo, orçado, das 4 câmeras internas com os seus respectivos sistemas de controle. A ordem de grandeza do custo das câmeras internas, com os seus respectivos equipamentos é de U\$100.000,00, já considerando os equipamentos importados, com suas taxas de importação. A figura 66 ilustra um sistema de aquisição de dados, da *Redlake®*, e a figura 67 ilustra uma câmera, própria para uso interno, também da *Redlake®*.



Figura 66 – Equipamento de Aquisição de Dados (*REDLAKE*, 2011a)



Figura 67 – Câmera Interna (*REDLAKE*, 2011b)

4.1.3.2 Sistema de aquisição de dados

Para a coleta de dados de todas as instrumentações, já de acordo com as normas SAE J221 e ABNT NBR 7335, um sistema de 96 canais é necessário. Adicionando os cabos necessários e as conexões, a ordem de grandeza destes custos, orçado, é de U\$300.000,00, já considerando o sistema importado com sua taxa de importação.

4.1.3.3 Barreira de impacto deformável

Considerando que a barreira de impacto deformável para aplicação com as normas ECE R94 e ABNT NBR 15300-3 tenha sua estrutura fixada na barreira rígida usada no impacto de 100% de sobreposição, como ilustrado na figura 68, sua estrutura de fixação será feita sob medida. Para isso, temos a ordem de grandeza de custo de U\$20.000,00.

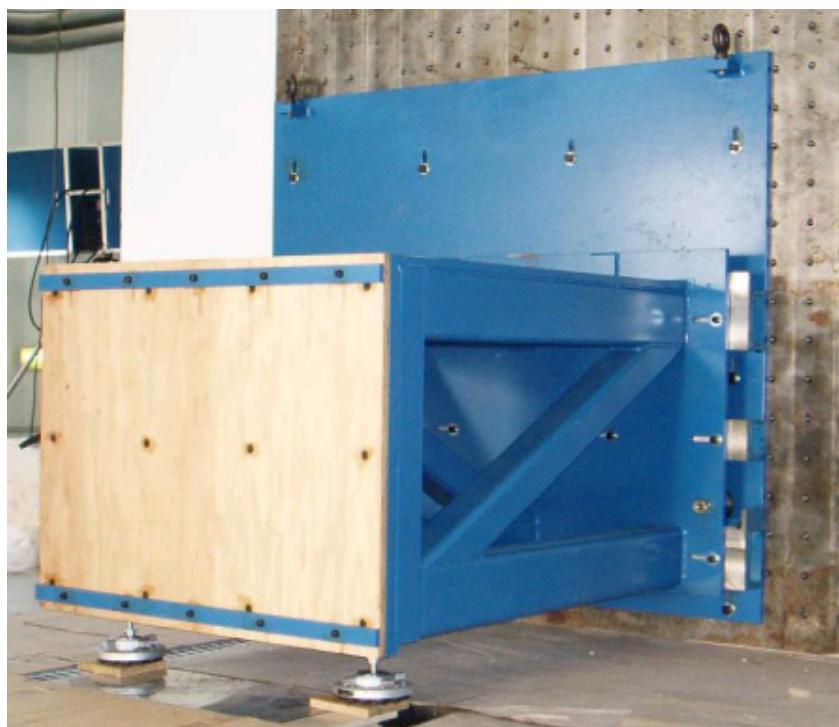


Figura 68 – Estrutura de Fixação da Barreira de Impacto Deformável, da Calspan®

A parte deformável da barreira de impacto, em estrutura de colméia de abelha, é descartável. Por isso a cada teste, o custo desta estrutura deve ser apresentado como custo variável, a ser somada por teste. A ordem de grandeza do custo, orçado é de U\$24.000,00, com o equipamento importado e sua taxa de importação. A figura 69 ilustra a estrutura deformável da barreira.



Figura 69 – Estrutura Deformável da Barreira de Impacto Frontal (*Plascore®*, 2010)

4.1.3.4 Máquina do ponto H

A máquina do ponto H, como ilustrado na figura 70 é necessária para o posicionamento dos manequins de teste no veículo e segue as normas ABNT NBR 6059, a SAE J826 e a ECE R94. A ordem de grandeza do custo deste equipamento, orçado, é de U\$16.000,00.



Figura 70 – Máquina do Ponto H (HUMANETICS, 2011i)

4.1.3.5 Sistema de medição de coordenadas

O sistema de medição de coordenadas, conforme ilustrado na figura 71, é necessário para fazer a medição e fixação do ponto H, assim como manter e verificar a posição dos manequins. A ordem de grandeza do custo deste equipamento orçado é de U\$72.000,00.



Figura 71 – Sistema de Medição de Coordenadas (Faro®, 2011)

4.2 Estudo de viabilidade econômica para atualização do laboratório de testes de impacto frontal, no Brasil

Esta seção irá mostrar o estudo financeiro para avaliação da vantagem econômica em se atualizar o laboratório de teste de impacto de veículos em comparação a se utilizar uma instalação no exterior.

4.2.1 VPL & TIR

Este estudo tem por objetivo, trazer o valor investido para o presente e sua avaliação como viabilidade financeira, ou negócio de lucro. Neste estudo, foi calculado o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

- Valor Presente Líquido (VPL): soma do valor presente dos vários fluxos de caixa, ao longo do tempo, com o desconto do investimento inicial;
- Taxa Interna de Retorno (TIR): taxa de desconto para VPL do investimento igual á zero (ABREU FO. et. al., 2005).

VPL e TIR são métodos de análise de viabilidade de negócio. Um investimento com VPL positivo e TIR maior que o desconto exigido para o investimento pode ser considerado um bom negócio (ABREU FO. et. al., 2005).

Para este estudo será levantado o número mínimo de testes por ano, necessário para se ter uma vantagem econômica, em se atualizar o laboratório de testes de impacto frontal ao invés de se utilizar instalações no exterior para realizar os testes. O objetivo é ter um retorno do investimento viável economicamente em 10 anos.

4.2.2 Plano para o laboratório de teste de impacto

Neste estudo, foi colocado todo o investimento para montagem do novo laboratório e equipamentos no ano 0. A partir do ano 1 são considerados os testes

de impacto, sendo 50% deles conforme norma ABNT NBR 15300-2, em barreira rígida, e 50% deles conforme norma ABNT NBR 15300-3, em barreira deformável.

Para levantamento da viabilidade financeira, considera-se que cada teste de impacto tenha um valor, de ordem de grandeza, de R\$100.000,00, para ser realizado no exterior. A viabilidade financeira virá da utilização deste valor como lucro por cada teste realizado no Brasil.

4.2.3 Estudo financeiro

Para os estudos financeiros, todos os valores em dólar americano (U\$) foram convertidos para Real (R\$), com uma taxa de conversão de 1,70 (U\$1,00 = R\$1,70).

Por se tratar de um laboratório sem fins lucrativos diretos, não será considerado a depreciação dos equipamentos, nem seu preço de venda no final da vida útil.

4.2.4 Investimentos

No ano 0 do projeto têm-se os investimentos necessários para todo o laboratório e equipamentos de acordo com a seção 4.1, listados, com seus respectivos custos na tabela 18.

Tabela 18 – Valores do Investimento

Investimento (R\$ x 1000)	Custo
Construção do Laboratório de Calibração	340,00
Equipamentos Laboratório de Calibração	850,00
2 Manequins de Teste NBR 15300-2	510,00
2 Manequins de Teste NBR 15300-3	680,00
Peças de Reserva Manequins NBR 15300-2	47,60
Peças de Reserva Manequins NBR 15300-3	47,60
Cameras Internas	170,00
Sistema de Aquisição de Dados	510,00
Estrutura Barreira NBT 15300-3	34,00
Máquina do ponto H	27,20
Medidor de Coordenadas	122,40
Total	3338,80

4.2.5 Custos fixos

Para a utilização do novo laboratório, os funcionários terão agora a tarefa adicional, que não faziam antes, de calibrar e montar os manequins de teste.

Estas novas tarefas incrementam 0,8 pessoas a mais trabalhando no laboratório, sendo que esta pessoa é um profissional de nível técnico.

Para o cálculo do custo fixo, iremos considerar que esta pessoa ganhe 7,5 salários mínimos, ou R\$4.050,00 por mês, sendo que em um ano de salário, de 13 meses, este total anual seria de R\$52.650,00. Porém, como apenas o incremento de trabalho será de 0,8 total de pessoas trabalhando a mais, o total anual a mais a ser gasto passa a ser de R\$42.120,00.

A instalação do laboratório passa a ter uma área de trabalho maior e com isso tem-se o custo de luz e manutenção das novas áreas. Para a área do novo laboratório, se espera o uso de 80 lâmpadas fluorescentes (40 pares). As luzes ficarão acesas 300 dias úteis por ano, por 8 horas por dia. De acordo com a OSRAM (2011), a lâmpada modelo HE 35W/840 tem a potência de 35W. Para estudo, a COELBA (2011) (empresa de distribuição de energia elétrica do estado da Bahia), tem o custo de 0,59 R\$/kWh. O custo da energia elétrica por ano é mostrado na tabela 19.

Tabela 19 – Custo Energia Elétrica.

Custo Energia Elétrica (R\$ x 1000)	
Número de Lâmpadas (unidades)	80
Custo da Energia Elétrica (R\$/kWh)	0,00059
Quantidade de Horas de Uso por Dia (h)	8
Quantidade de Dias de Uso por Ano (dias)	300
Total	113,28

Adicionando o salário a mais a ser pago e o custo da energia elétrica, o total do custo fixo será de R\$155.400,00 e é mostrado na tabela 20.

Tabela 20 – Custo Fixo.

Custo Fixo (R\$ x 1000)	
Custo de Energia Elétrica	113,28
Salários	42,12
Total	155,40

4.2.6 Custo variável

O custo variável vem apenas da estrutura em colméia de abelha, do teste de impacto de acordo com a norma ABNT NBR 15300-3, conforme mostrado na tabela 21.

Tabela 21. – Custo Variável.

Custo Variável, por teste (R\$/teste x 1000)	
Estrutura Deformável Alumínio NBR 15300-3 (Custo dividido por dois, pois será utilizado apenas na metade dos testes)	20,40
Total	20,40

4.2.7 Quantidades, preços e custos

Juntando-se os custos, as quantidades de testes realizados, preço de teste economizado, tudo distribuído ao longo dos anos de produção, para o valor mínimo de testes por ano, no qual se tem a vantagem econômica. Como o número de testes para este estudo é constante, os valores permanecem os mesmos ao longo dos anos, como mostrados na tabela 22.

Tabela 22 – Quantidade, preço e custos, ao longo dos anos.

(R\$ x 1000) / Tempo - n (ano)	0	1 - 10
Testes Realizados		10
Preço Teste Exterior		100,00
Custo Variável (p/teste)		20,40
Custo Fixo		155,40

4.2.8 Fluxo de caixa operacional

Para início do cálculo do VPL e da TIR, é necessário o cálculo do Fluxo de Caixa Operacional. Para isso são levantadas as receitas, custos totais, depreciação, LAJI (lucro antes dos juros e imposto de renda), juros (Abreu Fo. et. al., 2005), que neste caso é zero, pois não se emprestou ou aplicou financeiramente o dinheiro, o lucro tributável, o imposto a ser descontado e o lucro líquido, da economia dos testes.

A receita é o valor do custo do teste economizado, multiplicado pela quantidade de teste realizada. Os custos totais são os custos variáveis já multiplicados pelo volume de teste realizado, somado aos custos fixos. O LAJI é o valor da receita, descontado dos custos totais e da depreciação. Como não há dividendos de juros no laboratório, o LAJI passa a ser igual ao lucro tributável, que é o LAJI descontado pelos juros. No laboratório não há imposto, já que é uma atividade sem lucro, mostrado na tabela 26. O lucro líquido do laboratório será o lucro tributável descontado pelo imposto, que é zero. O fluxo de caixa será então a depreciação, que é zero, somado ao LAJI, descontado do imposto calculado da empresa, que também é zero. Como o número de testes é constante ao longo dos anos, os valores são os mesmos entre o ano 1 e o ano 10. Os valores são mostrados na tabela 23.

Tabela 23 – Fluxo de Caixa Operacional.

(R\$ x 1000) / Tempo - n (ano)	0	1 - 10
Receitas		1000,00
Custos Totais		359,40
Depreciação		0,00
LAJI		640,60
Juros		0
Lucro		640,60
Imposto		0,00
Lucro Líquido		640,60
Fluxo de Caixa Operacional		640,60

4.2.9 Necessidade e variação do capital de giro

Necessidade de Capital de Giro é uma função da atividade exercida e varia conforme as receitas e o ciclo financeiro (Abreu Fo. et. al., 2005). A necessidade do capital de giro será apenas a quantidade de dinheiro precisa para comprar e pagar os insumos do laboratório. Como todos os equipamentos de reposição já fazem parte do investimento inicial, o único capital de giro necessário, é o da compra da estrutura de colméia de abelha, de alumínio, que também é o único custo variável mostrado na tabela 21. A diferença dos capitais de giro com o capital de giro do ano anterior é chamada de Variação do Capital de Giro. Os valores de Necessidade e Variação do Capital de Giro seguem na tabela 24. A somatória da Variação do Capital de Giro é zero, já que ao término do período contábil, todas as diferenças são sanadas. Então, no último ano, o valor é igual ao faltante para zerar a soma dos valores.

Tabela 24 – Variação do Capital de Giro Livre.

(R\$ x 1000) / Tempo - n (ano)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Necessidade de Capital de Giro	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	183,60
Variação de Capital de Giro Livre	-204,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	204,00

Como a compra da estrutura da barreira de impacto deformável é necessária no ano anterior ao uso, o ano 0 já começa com a necessidade do capital. Como é esperado que o laboratório de testes continue em uso, após os 10 primeiros anos, no ano 10, ainda é considerado a necessidade do capital.

4.2.10 Valor residual

Ao final do período de utilização dos equipamentos, final do ano dez, os equipamentos têm seu valor residual. O Valor Residual de Mercado (VRM) é o valor

em que os equipamentos são vendidos em mercado aberto. O Valor Residual Contábil (VRC) é o valor que os equipamentos ainda têm para serem depreciados ou o valor que eles ainda têm para serem contabilizados. Sobre o VRM incide o imposto sobre este valor. Este imposto é calculado pela porcentagem do imposto sobre a diferença do VRM e do VRC, que são os Gastos de Capital, a parte dos ativos do valor residual (Cavalcante, 2008). A diferença do VRM e do imposto calculado, considerado, de trinta e oito por cento, são parte dos Gastos Líquidos de Capital. Porém, como não iremos considerar a revenda dos artigos, após a vida útil, estes valores ficam em zero.

4.2.11 Taxa de retorno

Taxa de Retorno (r) é dada pela fórmula $r = (P/a)*Kd + (Pl/a)*Ke$, onde:

- P - Dinheiro Emprestado;
- Pl - Dinheiro Pessoal;
- Kd - Taxa de Financiamento;
- Ke - Custo de Capital;
- a - Investimento total, ativo (Abreu Fo. et. al., 2005).

O ativo será a soma do investimento e da necessidade de capital de giro para o ano um. Neste estudo de viabilidade considerar-se-á que o dinheiro emprestado será de cem por cento do ativo e zero por cento do restante será o dinheiro do laboratório. A taxa de financiamento considerado será de seis por cento. O custo de capital será de vinte por cento, como forma de estudo. Os valores seguem na tabela 25. A tabela 26. mostra os totais, para Valor de Desconto, Necessidade de Capital de Giro e Imposto.

Tabela 25 – Taxa de Retorno

P - Valor do Empréstimo	3542,80
Pl - Investimento Pessoal	0,00
Kd - Taxa de Financiamento	6,00%
Ke - Custo de Capital Privado	20,00%
a - Ativo	3542,80
r - Taxa de Retorno	6,00%

Tabela 26 – Valor de Desconto, Necessidade de Capital de Giro e Imposto

(R\$ x 1000) / Tempo - n (ano)	
Investimento	3338,80
Imposto	0%
Necessidade de Capital de Giro (p/teste)	20,40
Taxa de Retorno - r	6,00%

4.2.12 Fluxo de caixa descontado, VPL & TIR

No ano zero há a retirada de capital para pagamento do investimento no laboratório. No ano dez há a entrada de capital, zero, pela venda dos ativos. Todos estes valores são parte dos Gastos Líquidos de Capital.

O Fluxo de Caixa é resultado da somatória do Fluxo de Caixa Operacional, Gastos Líquidos de Capital e a Variação do Capital de Giro Livre. Em seguida se tem o Fluxo de Caixa Descontado, que é o Fluxo de Caixa trazido ao valor presente, pela taxa de retorno r . Com a somatória do Fluxo de Caixa Descontado se tem o VPL (ABREU FO. et. al., 2005), e com estes valores se calcula a TIR, conforme valores da tabela 27.

Tabela 27. – Fluxo de Caixa, Fluxo de Caixa Descontado, VPL e TIR

(R\$ x 1000) / Tempo - n (ano)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fluxo de Caixa Operacional		640,60	640,60	640,60	640,60	640,60	640,60	640,60	640,60	640,60	640,60
Gastos Líquidos de Capital	-3338,80										0,00
Variação do Capital de Giro Livre	-204,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	204,00
Fluxo de Caixa	-3542,80	640,60	640,60	640,60	640,60	640,60	640,60	640,60	640,60	640,60	844,60
Fluxo de Caixa Descontado	-3542,80	604,34	570,13	537,86	507,42	478,69	451,60	426,04	401,92	379,17	471,62
Valor Presente Líquido		1678,23									
Taxa Interna de Retorno		6,56%									

Para se atingir a TIR com valor superior a uma taxa mínima de atratividade financeira, sendo esta considerada igual à taxa de retorno, de 6%, o número mínimo

de testes por ano que deve ter, para se conseguir esta vantagem econômica é de 10 testes por ano, sendo que, qualquer número maior que este, aumentará a vantagem econômica. Além disso, com 10 testes por ano se consegue em 10 anos um VPL de R\$1.678.230,00.

4.2.13 Cálculo do tempo do retorno financeiro

Para se ter o tempo necessário para o investimento ser amortizado, calcular-se o retorno financeiro. Dividindo-se o investimento total, pelo total economizado através dos anos (ABREU FO. et. al., 2005 & CAVALCANTE, 2008) tem-se o retorno financeiro em 6,9 anos de uso do laboratório atualizado.

4.2.14 Conclusões do estudo financeiro

Para se conseguir o mínimo de vantagem econômica em se atualizar este laboratório de impacto, é preciso realizar 10 testes de impacto por ano, que é um valor elevado, já que, normalmente, a quantidade de testes por ano é inferior a isto, até 7 no máximo, para a homologação de veículos.

Contando com uma possível taxa interna de retorno de 6%, o que por si só já é um baixo lucro esperado, já que para retornos financeiros de lucro, é possível se utilizar de valores da faixa de 10% de retorno. Portanto, este não é um negócio viável do ponto de vista econômico.

Para que a atualização do laboratório seja viável e com retorno financeiro, teste de estudo de engenharia, de montadora, seria uma opção para aumentar este número. Outra opção seria de vender serviço, para uma quantidade de testes totais superiores a pelo menos 11 testes por ano, reduzindo assim também o tempo necessário para ter o retorno financeiro. Porém, como segurança veicular é algo muito delicado dentro das montadoras, dificilmente uma montadora solicitaria um teste neste laboratório. Porém, uma das possibilidades para se tornar viável a montagem do laboratório, seria utilizar os testes de mercado e consumidor, como os

NCAPs, ou mais especificamente realizar os testes do LatinNCAP neste laboratório, no Brasil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi possível mostrar que a nova lei e a Resolução 221 do CONTRAN são necessárias e bem vindas no Brasil. Porém, por causa da forma como a Resolução 221 do CONTRAN especifica o modelo de teste a ser usado (a critério da montadora de veículos), não há garantias de que o modelo de testes que melhor verifica os critérios de ferimento dos ocupantes, para os modelos de veículos mais vendidos no Brasil, seja usado, caso a montadora utilize apenas o teste pela norma ABNT NBR 15300-2, ao invés do teste pela norma ABNT NBR 15300-3, ou a soma dos dois.

5.1 Conclusão

As normas de verificação de critérios biomecânicos de proteção ao ocupante, no caso de impacto frontal veicular, nos diferentes países estudados - Estados Unidos, Europa, Austrália, Japão e Brasil -, possuem grande similaridade, diferenciando-se apenas como dois diferentes testes, ao invés de testes específicos para cada país. No caso, os Estados Unidos fazem a verificação de ferimento ao ocupante em caso de impacto frontal veicular por critérios de verificação biomecânica, em teste do veículo em impacto frontal com uma barreira de impacto rígida, com sobreposição da largura do veículo em 100%, a 56 km/h, para o critério de uso de cinto de cinto de segurança, além de realizar testes para o não uso do cinto de segurança, para mulher como motorista, e para crianças, enquanto que a Europa faz a verificação de ferimento ao ocupante em caso de impacto frontal veicular, por critérios de verificação biomecânica, em um teste do veículo em impacto frontal com uma barreira de impacto deformável, com sobreposição da largura do veículo em 40%, com impacto a 56 km/h, verificando também os critérios de deformação do veículo, para a retirada dos passageiros. A Austrália e o Japão utilizam os dois tipos de teste em barreira de impacto frontal rígida, com sobreposição de 100%, com cinto de segurança, variando apenas a velocidade do impacto, de 48 km/h na Austrália e 50 km/h no Japão, além de se utilizarem também, do mesmo teste feito na Europa, em barreira de impacto com sobreposição

de 40%. No Brasil, a escolha do teste é do fabricante do veículo, que pode escolher entre o teste de impacto em barreira rígida, com sobreposição de 100%, a 48 km/h, com cinto de segurança dos manequins de teste ou o teste em barreira deformável, similar ao teste da Europa.

Os dois modelos de teste de impacto frontal, em barreira rígida (referência Estados Unidos) e barreira móvel (modelo Europa) possuem diferenças para além da forma de realização do teste, do tipo e resultado alcançado. Conforme examinado o modelo de teste em barreira rígida, com sobreposição de 100%, tem como critério principal de verificação a desaceleração dos ocupantes em caso de impacto frontal, que é mais crítico em veículos grandes, geralmente de chassi separado da carroceria, por causa da rigidez estrutural deles, enquanto que o modelo de teste em barreira deformável com sobreposição de 40% simula um impacto frontal carro a carro com baixa área de impacto entre os carros, reproduzindo assim um acidente de trânsito mais real, com alta deformação do veículo, que é mais crítica em veículos menores por causa da baixa rigidez estrutural.

Ao se verificar o tipo de veículos vendidos em cada mercado mostrado neste trabalho, é possível entender o porquê da escolha de cada tipo de teste:

- Estados Unidos: conforme descrito pela NHTSA, a maior parte dos veículos vendidos nos Estados Unidos são camionetes, com chassis rígidos separados das carrocerias. Isso faz com que a atual maior preocupação das autoridades deste país seja para a desaceleração dos veículos em caso de impacto, já que isto é crítico para este tipo de veículo, por isso o uso do teste em barreira rígida com sobreposição de 100% da largura do veículo. Porém, isto pode mudar nos próximos anos, já que cada vez mais as montadoras estão adotando veículos com a carroceria do veículo integrada, sem o uso de chassi separado da carroceria, por serem veículos mais leves e modernos.

- Europa: como há pouquíssimas camionetas com chassi separado da carroceria e a grande maioria dos veículos é de veículos pequenos e médios, naturalmente o teste mais indicado para o mercado deles é o teste de impacto em barreira deformável, com sobreposição de 40%, para testar justamente o critério mais crítico deles que é a deformação de estruturas mais fracas.

- Austrália e Japão: Na Austrália, a variedade dos tipos de veículos é ampla, indo do compacto ás camionetas pesadas. Porém diferentemente dos Estados Unidos, as diferentes variedades dos veículos é bem distribuída, fazendo o mercado deles, solicitarem os dois modelos de testes. No Japão, o mercado também é bem distribuído, porém lá, o modelo de veículo com chassi separado da carroceria é uma

serie de pequenas camionetas/caminhões, diferente dos Estados Unidos e Austrália. Além disso, o Japão é o terceiro maior mercado de veículos do mundo, com consumidores exigentes e com conhecimento e informação, o que faz o Japão poder exigir os dois tipos de testes.

Durante os últimos anos, o grande volume de veículos mais vendidos no Brasil foram os de veículos pequenos, com até 1300 kg. Este estudo mostra que o modelo de norma ideal para proteger os consumidores seria o teste de impacto em barreira rígida, com sobreposição total do veículo, conforme a norma ABNT NBR 15300-2, mas o teste de impacto em barreira deformável, com sobreposição parcial do veículo, conforme a norma ABNT NBR 15300-3, mais o teste de *sled*. Porém hoje, a resolução do CONTRAN 221 exige apenas a utilização de um dos modelos de testes impacto. Neste estudo, é mostrado que a melhor opção para o consumidor dos modelos de veículos mais vendidos no Brasil, é que a montadora escolha pelo menos para a homologação do veículo, o modelo de teste de acordo com a norma ABNT NBR 15300-3.

Nas análises dos modelos de teste, verificou-se que para um equipamento de *Air Bag* correto, com uma velocidade de abertura correta e segura, uma forma correta de utilização da norma ABNT NBR 15300-2, seria esta norma unir-se a uma segunda norma, de teste de *sled*, para a garantia da calibração correta de abertura do equipamento, para evitar ferimentos aos ocupantes. Desta forma, o teste ABNT NBR 15300-2 não deveria ser aplicado da forma que está hoje descrito.

A utilização dos dois modelos de teste – ABNT NBR 15300-2 e -3, juntos, é possível pela utilização do teste de *sled*, já que também foi mostrado que apenas a norma ABNT NBR 15300-2 é um risco, além de ser o melhor modelo de teste mostrado neste estudo. Também, o Brasil hoje como quarto maior mercado de veículos do mundo, teria, teoricamente, força suficiente para utilizar os dois modelos de teste, em barreira rígida e deformável, mais o teste de *sled*, como obrigatórios. Porém, para que isso se torne possível, trabalhos como este, com análise técnica do que acontece hoje nos acidentes, precisam ser feitos, para que as autoridades tenham uma base para tomada de decisão, quanto ao assunto, além da necessidade do funcionamento pleno de institutos independentes, que tem o intuito de mostrar ao público quais os veículos mais seguros e que melhor os protegem, tornando assim o país um mercado importante em segurança veicular, pela disseminação da idéia de carros mais seguros pela comunidade científica e pela própria população.

Durante a realização deste estudo, foi possível verificar que o Brasil não tem um banco de dados concreto de acidentes. Com isso, as análises aqui realizadas tiveram que ser baseadas em estudos de outros países que aparentemente tem um mercado equivalente ao brasileiro. Porém, para estudos mais detalhados de modos e ocorrências de acidentes, um banco de dados nacional seria de extrema importância. Também da mesma forma, publicações sobre resultados de testes de impacto são limitados a algumas revistas, na maioria das vezes sobre resultados e estudos feitos apenas em laboratórios independentes. Neste tipo de estudo, a grande parte dos profissionais trabalham nas próprias montadoras de veículos, o que traz o problema de confidencialidade de informação, o que poderia de alguma forma estar limitando a publicação deste tipo de pesquisa científica.

Neste estudo, foi possível levantar todas as etapas dos novos modelos de teste, da nova Resolução do CONTRAN 221 e compará-las com a Resolução do CONTRAN 463, vigente. Também, com as diferenças dos testes foi possível levantar todos os novos equipamentos e espaço físico necessários para a realização dos novos testes, mostrados no capítulo 4.

Comparando-se a realização dos testes de impacto frontal, conforme a nova Resolução do CONTRAN 221 no exterior ao invés de realizar uma atualização do laboratório de teste da Resolução do CONTRAN 463, mostrou-se positiva financeiramente para a atualização do laboratório, com um valor presente líquido (VPL) de R\$1.678.230,00, uma taxa interna de retorno (TIR) de 6,56% e um retorno de capital em 6,9 anos, para o uso do laboratório por 10 anos, com 10 testes de impacto por ano, sendo que se o número de testes por ano aumentar, o VPL também aumenta, melhorando ainda mais o critério financeiro de escolha pela opção de atualização do laboratório de impacto veicular. Porém, como está é um caso difícil de acontecer, pois 10 é um número de utilização elevado, para ser usado, mais do que normalmente feito em uma montadora em testes de homologação, além de que realizar testes para outras montadoras é algo muito improvável de acontecer, inviabilizando assim a mudança do laboratório. O uso em testes independentes e de desenvolvimento de engenharia teria que ser considerado para a viabilidade financeira para a atualização do laboratório.

O Brasil hoje, com a necessidade de institutos independentes de teste de impacto, para informar a qualidade da segurança dos veículos vendidos no mercado brasileiro, e a falta de laboratórios de teste, esta união pode ser uma forma de viabilizar a construção de um laboratório de teste, tendo assim, um número maior de testes por ano. Um dos institutos poderia ser o LatinNCAP.

5.2 Contribuições

Com os dados e conclusões mostradas possibilitou-se contribuir com a pesquisa na área de segurança veicular que ainda é pequena no Brasil, ainda na maioria das vezes feitas dentro das montadoras de veículos e quando não, em grupos de engenharia de outros países.

Os resultados, aqui mostrados, indicam que por mais que a Resolução 221 de avaliação de critérios biomecânicos para proteção dos ocupantes seja nova, ela ainda deve melhorar para se compatibilizar com países de maior tradição em segurança veicular, como os Estados Unidos, a Europa, a Austrália e o Japão. Este estudo também mostra que esta resolução não faz com que os veículos passem por um teste que verifique a maior característica de fragilidade dos modelos de carros mais vendidos no país, desprotegendo assim, os consumidores desta característica de fragilidade. A resolução do CONTRAN 221 precisaria ser corrigida.

5.3 Atividades futuras de pesquisa

Com este trabalho, será possível, utilizando a mesma metodologia, a verificação para o teste de impacto lateral, traseiro e outros geralmente usados em testes independentes, como teste de capotamento, impacto em poste lateral, frontal com barreira rígida e sobreposição inferior a 100%. Também, as verificações em testes de bancada, do *Air Bag* podem ser verificadas com as utilizadas em outros países, a critério de comparação. Outros trabalhos mais focados seriam utilizar esta metodologia na avaliação nos testes de impacto traseiro e lateral, utilizados em outros mercados mais maduros em relação a impacto veicular, como os citados neste trabalho, para também poder ser criada a norma correta para estes respectivos testes, que ainda o Brasil não possui.

Outra verificação a ser estudada é a de aumento das velocidades de impacto em relação às normas, como é feito nos laboratórios independentes da EuroNCAP, ANCAP e JNCAP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

96/79/EC - **Diretiva do Parlamento Europeu do Conselho de 16 de Dezembro de 1996**, na proteção dos ocupantes de veículos automotores no evento de impacto frontal e fazendo emenda a Diretiva 70/156/EEC – janeiro, 2000.

74/297/EEC - **Diretiva do Parlamento Europeu do Conselho de 4 de junho de 1974**, na Aproximação das Leis dos Estados Membros Relativos aos Acessórios Internos dos Veículos Automotores (Comportamento do Mecanismo de Direção no Evento de um Impacto) – dezembro, 1991.

ABREU FO., José Carlos Franco de; SOUZA, Cristóvão Pereira de; GONÇALVES, Danilo Américo; CURY, Marcus Vinícius Quintella. **Finanças Corporativas** – Série Gestão Empresarial. 6.ed. Rio de Janeiro: FGV, 2005.

ADR 69/00. **Vehicle Standard, Australian Design Rule** - Full Frontal Impact Occupant Protection. Outubro, 2007.

ADR 73/00. **Vehicle Standard, Australian Design Rule** - Offset Frontal Impact Occupant Protection. Novembro, 2005.

ALBAYRAK, E.; ERENSAL, Y. C. **Using analytic hierarchy process (AHP) to improve human performance. An application of multiple criteria decision making problem** - Journal of Intelligent Manufacturing. 15 ed. pp. 491-503, 2004.

ANTT – Agência Nacional dos Transportes Terrestres. **Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres**. Disponível em: <http://appeantt.antt.gov.br/InformacoesTecnicas/aett/aett_2008/1.8.7.asp>. Acesso em: 25 ago. 2010.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7735: **Veículos Rodoviários Automotores** – Instrumentação para Ensaio de Impacto, 1982.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 15300-1: **Veículos Rodoviários Automotores** – Proteção ao Ocupante – Ensaio de Impacto Frontal, Parte 1: Requisitos de Desempenho, 2010.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 15300-2: **Veículos Rodoviários Automotores** – Proteção ao Ocupante – Ensaio de Impacto Frontal, Parte 2: Procedimento de Ensaio de Impacto Frontal com 100% de Sobreposição, 2010.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 15300-3: **Veículos Rodoviários Automotores** – Proteção ao Ocupante – Cabeça no Teste de Impacto, Parte 3: Cabeça no Teste de Impacto com 40% de Sobreposição – 2010.

Australasian New Car Assessment Program. **ANCAP**. Disponível em: <<http://www.ancap.com.au/about.aspx>> e <<http://www.ancap.com.au/crashtesting>>. Acesso em: 16 nov. 2010.

Automobilsport.com Onlinemagazin. **September 1959: First Crash Test at Mercedes-Benz – 2009.** Disponível em <http://www.automobilsport.com/cars-tuning-37,68276, September-1959-First-crash-test-at-Mercedes-Benz,news.htm>. Acesso em: 03 out. 2010.

Autonews. **Ford 100 Years.** Disponível em: <<http://www.autonews.com/page.cms/page.cms?pageld=326> – 2003>. Acesso em 20 set.2010.

BRELL, Edward W. **Simplified Models of Vehicle Impact for Injury Mitigation.** Escola de Desenvolvimento Urbano - Universidade de Tecnologia de Queensland, Brisbane, 2005.

BUZEMAN, Dagmar G.; VIANO, David C.; LÖVSUND, Per **Injury Probability ans Risk in Frontal Crashes: Effects of Sorting Techniques on Priorities for Offset Testing** – Accident Analysis and Prevention, V. 30, No. 5. pp. 583-595. Pergamon / Elsevier Science, 1998.

CAVALCANTE, Luiz Ricardo. **Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Comercial de Oportunidades para Inovação.** Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec, Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial – Salvador, 2008.

COELBA, Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – **Conta de Energia Elétrica**, Conta Contrato 0226762981 – Salvador, agosto de 2011.

Comissão Européia. **Road Safety Evolution in the EU.** Diretoria Geral de Mobilidade e Transporte – Disponível em: <http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/care_reports_graphics/index_en.htm> Acesso em: 30 set. 2010.

Confederação Nacional dos Municípios, CNM. **Mapeamento das Mortes por Acidente de Trânsito no Brasil.** Brasília, 2009;

CONROY, Carol; TOMINAGA, Gail T.; ERWIN, Steve; PACYNA, Sharon; VELKY, Tom; KENNEDY, Frank; SISE, Michael; COIMBRA, Raul. **The Influence of Vehicle Damage on Injury Severity of Drivers in Head-on Motor Vehicle Crashes** – Accident Analysis and Prevention. 40.ed. pp. 1589 – 1594, Elsevier, 2008;

Conselho Nacional de Trânsito. **CONTRAN.** Resolução 221, 2007;

Conselho Nacional de Trânsito. **CONTRAN.** Resolução 311, 2009;

Conselho Nacional de Trânsito. **CONTRAN.** Resolução 463, 2006;

DAGDEVIREN, Metin; YAVUZ, Serkan; KILINÇ, Nevzat **Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy enviroment** – Expert Systems with Applications. 36 ed. pp. 8143-8151. Elsevier, 2009.

DAIMLER AG. **September 1959: First Crash Test at Mercedes-Benz – 2009.** Disponível em: <[http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-657486-1-1228592-1-0-0-1-11701-614318-0-1-0-0-0-0.html](http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-657486-1-1228592-1-0-0-0-1-11701-614318-0-1-0-0-0-0.html)>. Acesso em 03 out. 2010.

Denton. Figura **Manequim de teste**. Disponível em: <www.radenton.com>. Acesso em 10 jan. 2011.

Departamento Estadual de Trânsito de Alagoas, DETRAN / AL. **Questões Sobre Direção Defensiva**. Disponível em: <<http://www.detran.al.gov.br/educacao/questoes/DirecaoDefensiva.PDF>>. Acesso em 30 set.2010.

Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration – NHTSA. **New Car Assessment Program**. NCAP - Notice – Federal Register, Part II, V. 73, No. 134, pp. 40015 – 40050 – 2008.

DIGGES, K; SAHRAEI, E.; SAMAHA, R. **Opportunities for Improved Rear Seat Child Safety**. Apresentado na 7ª Conferência Internacional de Proteção às Crianças em Carros. Munique, 2009.

DUBOIS, P.; CHOU, C.; FILETA, B.; KHALIL, T.; KING, A.; MAKMOOD, H.; MERZ, H.; WISMANS, J. **Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection**. Automotive Applications Committee, American Iron and Steel Institute Southfield, Michigan, 2004.

DYER, J. S. **Remarks on the Analytic Hierarchy Process**. Management Science, No. 36. pp. 244-258 – 1990.

ECE R12-03. Regulamento 94 da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa. **Uniform Provisions Concerning the Approval of**: Vehicles with Regard to the Protection of the Driver Against the Steering Mechanism in Event on Impact – 2010.

ECE R33. Regulamento 94 da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa. **Uniform Provisions Concerning the Approval of**: Vehicles with Regard to the Behaviour of the Structure of the Impacted Vehicle in a Head-on Collision – 2007.

ECE R94. Regulamento 94 da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa. **Uniform Provisions Concerning the Approval of**: Vehicles with Regard to the Protection of the Occupants in the Event of the Occupants in the Event of a Frontal – 2008.;

European New Car Assessment Program. **Euro NCAP**. Disponível em: <<http://www.euroncap.com/about.aspx>>. Acesso em: 16 nov. 2010 (1).

European New Car Assessment Program. **Euro NCAP**. Disponível em: <<http://www.euroncap.com/Content-Web-Faq/b012b7f3-44f9-4755-94f9-a8642fd1402/a/about-euro-ncap.aspx>>. Acesso em: 16 nov. 2010 (2).

European New Car Assessment Program, **Euro NCAP**. Disponível em: <<http://www.euroncap.com/tests.aspx>>. Acesso em: 16 nov. 2010 (3).

European New Car Assessment Program. **Euro NCAP**. Disponível em:<<http://www.euroncap.com/tests/frontimpact.aspx>>. Acesso em: 16 nov. 2010 (4).

EVANS, L. A. **Traffic Safety and the Driver** – Van Nostrand Reinhold. Nova Iorque, 1991.

EVANS, L. A. **New Traffic Safety Vision for the United States** – American Journal of Public Health – 93:1384-1386 – 2003.

FAITH, N. **Crash: The Limits of Car Safety**. Macmillan, Londres, 1997.

Faro. Figura do Sistema de medição de coordenada. **FaroArm Platinum**. Disponível em:<<http://www.idtvision.com/imaging/n5.php>>. Acesso em: 25 Jan. 2011.

Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulations. **Foreword**. Disponível em: < <http://www.nhtsa.gov/cars/rules/import/fmvss/index.html#SN301>>. Acesso em: 26 jun. 2011.

FENABRAVE. Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores. Disponível em: < http://www.fenabrade.com.br/principal/home/?sistema=conteudos|conteudo&id_conteudo=4#conteudo>. Acesso em: 26 dez. 2010.

FERGUNSON, E.; AMOAKO, Johnson; SIMPASON, M.; STOTT, E.; MOTHA, J. **Report 102 – Road Crash Costs in Austrália**. Escritório de Transportes & Economias Regionais, 2000.

FERGUSON, S. A.; SCHNEIDER, L. W. **An overview of frontal air bag performance with changes in frontal crash-test requirements: findings of the Blue Ribbon Panel for the evaluation of advanced technology air bags** - Traffic Injury Prevention, V. 9. pp. 421–431. 2008.

FMVSS 204. Federal Motor Vehicle Safety Standard (**49 CRF part 571**). Steering Control Rearward Displacement – junho, 1999.

FMVSS 208. Federal Motor Vehicle Safety Standard (**49 CRF part 571**). Occupant Crash Protection – fevereiro, 2010.

HILL, J. R.; FRAMPTON, R. J.; MACKAY, M. **Appropriate Frontal Barrier Tests for Belted Occupants** – Accident Analysis and Prevention, V. 27, No. 6. pp. 807-817. Pergamon / Elsevier Science, 1995.

HOLLOWELI, T. et. al. **Updated Review of Potential Test Procedures for FMVSS No. 208** - NHTSA, 1999.

Hoye, Alena **Are airbags a dangerous safety measure? A meta-analysis of the effects of frontal airbags on driver fatalities** - Accident Analysis and Prevention, V. 42. pp. 2030-2040. Elsevier, 2010.

Humanetics, Innovative Solutions™. **Frontal Impact, About Frontal Impact Dummies**. Disponível em: < <http://www.Humaneticsatd.com/rash-test-dummies/frontal-impact>>. Acesso em: 20 Jan. 2011.

Humanetics, Innovative Solutions™. **Hybrid II 50th Male Dummy.** Disponível em: <<http://www.Humaneticsatd.com/crash-test-dummies/frontal-impact/hybrid-ii-50th>>. Acesso em: 20 Jan. 2011.

Humanetics, Innovative Solutions™. **Head Drop Test Fixture TE-100/TE-100-E.** Disponível em: <<http://www.Humaneticsatd.com/test-equipment/fixtures/head-drop>>. Acesso em: 20 Jan. 2011.

Humanetics, Innovative Solutions™. **Neck Flexion Test Fixture TE-207/TE-207-E.** Disponível em: <http://www.humaneticsatd.com/test-equipment/fixtures/neck-pendulum> Acesso em: 20 Jan. 2011.

Humanetics, Innovative Solutions™. **Thorax Impact Test Fixture TE-325/TE-325-E.** Disponível em: <<http://www.humaneticsatd.com/test-equipment/fixtures/thorax-impact>>. Acesso em: 20 Jan. 2011.

Humanetics, Innovative Solutions™. **Knee Impact Test Fixture TE-550/TE-550-E.** Disponível em: <<http://www.humaneticsatd.com/test-equipment/fixtures/knee-impact>>. Acesso em 20 Jan. 2011.

Humanetics, Innovative Solutions™. **Hip Range of Motion - 270-0000/270-0000-E.** Disponível em: <<http://www.humaneticsatd.com/test-equipment/fixtures/hrom>>. Acesso em 20 Jan. 2011.

Humanetics, Innovative Solutions™. **Euro-Foot Test Fixture TE-5000/TE-5000-E.** Disponível em: <<http://www.humaneticsatd.com/test-equipment/fixtures/euro-foot>>. Acesso em: 20 Jan. 2011.

Humanetics, Innovative Solutions™. **H-Point Machines**. Disponível em: <<http://www.humaneticsatd.com/specialty-products/h-point-machine>>. Acesso em: 20 Jan. 2011.

IIHS. Offset Barrier Test Protocol. 2009. Disponível em: <http://www.iihs.org/ratings/protocols/pdf/test_protocol_high.pdf>. Acesso em 18.set.2010.

IIHS. TechData. Disponível em <<http://techdata.iihs.org/>> - setembro / 2009>. Acesso em: 05.out.2010.

Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada, IPEA. Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas Brasileiras. Brasília, 2004.

Insurance Institute for Highway Safety, IIHS. Frontal Offset Crashworthiness Evaluation, Offset Barrier Crash Test Protocol (Version XIII) – Arlington, 2008. Disponível em: <<http://www.iihs.org>>. Acesso em: 16 nov.2010.

International Transport Forum, ITF. A Record Decade for Road Safety, International Transport Forum at the OECD Publishes Road Death Figures for 33 Countries – Press Release – Paris, 2010.

ISO/TC22/SC10/WG1. **Synthesis of Accident Data Presented to the EEVC WG11** – documento no. N274.

JANICKI, R. **Pairwise Comparisons, Incomparability and Partial Orders**. In Proceedings of ICEIS'2007(International Conference on Enterprise Information Systems) – Artificial Intelligence and Decision Support System, V. 2, pp. 296-302 – 2007.

JANICKI, RYSZARD; ZHAI, YUN **On a Pairwise Comparison-Based Consistent Non-Numerical Ranking**, Logic Journal of IGPL Advance Access – Oxford University Press, fevereiro de 2011.

Japan New Car Assessment Program, **JNCAP**. Disponível em: <<http://www.nasva.go.jp/mamoru/en/index.html>>. Acesso em: 16 nov. 2010a.

Japan New Car Assessment Program, **JNCAP**. Disponível em: <http://www.nasva.go.jp/mamoru/en/assessment_car/crackup_test.html>. Acesso em: 16 nov. 2010b.

KOCZKODAJ, W. W. **A New Definition of Consistency of Pairwise Comparisons**. Mathematical and Computer Modelling, No. 18. pp. 79-84 – 1993.

LAITURI, Tony R.; HENRY, Scott; SULLIVAN, Kaye; PRASAD, Priya **Lower-Body Injury Rates in Full-Engagement Frontal Impacts: Field Data and Logistic Models** – SAE World Congress. SAE International. Detroit, 2006.

Latin NCAP, **Latin NCAP releases first car safety crash test results**. Disponível em: <http://www.latinnCAP.com/_en/?pg=press>. Acesso em: 19 out. 2010a.

Latin NCAP, **Vision and Mission**. Disponível em: <http://www.latinnCAP.com/_en/?pg=aboutus>. Acesso em: 19 out. 2010b.

Latin NCAP, **Frequently Asked Questions**. Disponível em: <http://www.latinnCAP.com/_en/?pg=faq>. Acesso em: 19 out. 2010c.

Latin NCAP, **Resultados**. Disponível em: <http://www.latinnCAP.com/_po/?pg=results_list>. Acesso em: 02 jan. 2010d.

Latin NCAP, **Resultados**. Disponível em: <http://www.latinnCAP.com/_po/?pg=results_list>. Acesso em: 02 abr. 2012.

LI, Te-Sheng; HUANG, Hsing-Hsin **Applying TRIZ and Fuzzy AHP to develop innovative design for automated manufacturing systems** – Expert Systems with Applications, V. 36. pp. 8302-8312. Elsevier, 2009.

LI, Yanlai; TANG, Jiafu; LUO, Xinggang; XU, Jie **An integrated method of rough set, Kano's model and AHP for rating customer requirements' final importance** – Expert Systems with Applications, V. 36. pp. 7045-7053. Elsevier, 2009.

LIMA, Ieda Maria de Oliveira; GREVE, Júlia; MORITA, Patrícia Alessandra. **Metodologia para Estimativa de Custos de Cuidados com Saúde:** Análise dos Fatores de Gravidade e Recomendações para Redução de Custos. Texto para Discussão nº. 1343. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília, 2008.

LOFTIS, Kathryn L.; MARTIN, R. Shayn; GABLER, H. Clay; MEREDITH, J. Wayne; STITZEL, Joel D. **Development of a Method to Compare Real-World Crashes to Vehicle Crash Tests.** SAE International, 2010.

LOMONACO, G.; GIANOTTI, E. **Five-Year Status Report of the Advanced Offset Frontal Crash Protection.** Paper no. 491 – 17th ESV, 2001.

LOWNE, R. W. EEVC Working Group 11. **Report on the Development of a Frontal Impact Test Procedure** – no. artigo 94-S8-O-05, 14th ESV Conference – Munique, 1994.

MANARY, M. A.; REED, M. P.; FLANNAGAN, C. A. C.; SCHNEIDER, L. W. ATD Positioning Based on Driver Posture and Position. **SAE Technical Paper**, 983163 – 1998.

MILLER, P.; MOFFET, J. **The Price of Mobility** – Uncovering the Hidden Costs of Transportation. Conselho de Defesa dos Recursos Naturais dos Estados Unidos, 1993.

MINETA, N. Y.; MARTIN, E. **Economic Impact of U.S. Motor Vehicle Crashes.** Departamento de Transportes, 2002.

MIZUNO, Koji; WANI, Kenji; YONEZAWA, Hideki. Vehicle Crashworthiness in Full and Offset Frontal Impact Tests – rev. 24, p.p. 173 – 181, **Society of Automotive Engineers of Japan**, Inc e Elsevier Science B.V., 2003.

MOSTAFA, Khaled; DIGGES, Kennerly; MONTEVALLI, Vahid. Evaluating Frontal Crash Test Force-Deformation Data for Vehicle Frontal Crash Compatibility. SAE International 2008 World Congress, **SAE Technical Paper Series**. Detroit, 2008.

MotorwayAmerica. **Mercedes-Benz Marks 50 Year Since Crash Testing First Car.** Disponível em: <<http://www.motorwayamerica.com/content/mercedes-benz-marks-50-years-crash-testing-first-car>>. Acesso em: 26 jun. 2010.

National Highway Traffic Safety Administration – NHTSA. **Report to Congress – Status Report on Establishing a Federal Motor Vehicle Safety Standard for Frontal Offset Testing.** Disponível em: < <http://www.nhtsa.gov/cars/rules/> CrashWorthy /offrt.html#offrt7>. Acesso em: 03 nov. 2010.

NITTA, Shigeki; CHIBA, Masakazu; FUKUSHIMA, Masanobu; KAWAGUCHI, Kenji. **A Study of Compatibility and Vehicle Front Stiffness Based on Real-World Accidents** – SAE International 14th Asia Pacific Automotive Engineering Conference, SAE Technical Paper Series – Hollywood, 2007.

NOLAN, J.; LUND, A. **Frontal Offset Deformable Barrier Crash Testing and Its Effect on Vehicle Stiffness** – Proceedings of the 17th ESV, paper no. 487 – 2001.

O'NEIL, B.; KYRYCHENKO, S. **Crash Incompatibilities Between Cars and Light Trucks**: Issues and Potential Countermeasures – SAE, 2004-01-1166 – 2004.

O'REILLY, P. **Status Report of IHRA Vehicle Compatibility Working Group**. Paper no. 337 – 17th ESV – 2001.

OSRAM do Brasil, **Catálogo Geral 2010 / 2011** – Ed. agosto de 2011. Osasco, agosto de 2011.

PARK, B. T.; HACKNEY, J. R.; MORGAN, R. M.; CHAN, H. et. al. The New Car Assessment Program: Has it Led to Stiffer Light Trucks and Vans Over the Years?. **SAE Technical Paper** 1999-01-0064 – 1999.

PLANATH, I.; NORIN, H; NILSSON, S. **Severe Frontal Collisions with Partial Overlap** – Significance, Test Methods and Car Design. Nro. artigo 930636, SAE, Warrendale, 1993.

PLANATH-SKOGSMO, Ingrid; NILSSON, Richard. **Frontal Crash Tests** – A Comparison of Methods . No. artigo 94228, pp. 345 – 353 – 1994.

Plascore. Figura de **Estrutura Deformável da Barreira de Impacto Frontal**. Disponível em: <www.plascore.com>. Acesso em 10 jan. 2011.

PORTRER, P. **Revisão Anual**. Escritório de Segurança no Transporte Australiano, 2002.

Redlake. **Figura de equipamento de aquisição de dados**. Disponível em: <<http://www.idtvision.com/solutions/data.php>>. Acesso em 25 jan. 2011.

Redlake. **Foto de câmera interna**. Disponível em: <<http://www.idtvision.com/imaging/n5.php>>. Acesso em 25 jan. 2011.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S. **Física I** – V. 1, Ed. 5 – LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. – Rio de Janeiro, 2003.

SAATY, Thomas L. **Decision making with the analytic hierarchy process** – Int. J. Services Sciences, V. 1, No. 1. pp. 83-98. Inderscience Enterprises, 2008.

SAMAHA, Randa Radwan; DIGGES, Kennerly; FESICH, Thomas; AUTHALER, Michaela. **Frontal Crash Testing and Vehicle Safety Designs**: A Historical Perspective Based on Crash Test Studies – SAE International, 2010.

SAUNDERS, James; STRASHNY, Alexander; WIACEK, Chris. **Occupant Compartment Intrusion in Frontal Crash Tests** – SAE International 2008 World Congress, SAE Technical Paper Series. Detroit, 2008.

SAUNDERS, J.W., LOUDEN, A., PRASAD, A. **Offset Test Design and Preliminary Results**, Proceedings of the 20th Experimental Safety Vehicles, Paper 07-0240, Lyon, France, 2007.

SCHEUNERT, D. et. al. **What is a Realistic Frontal Offset Test Procedure?** In: Proceedings of the IRCOBI Conference, IRCOBI Secretariat. Bron, 1992.

SWANSON, J.; ROCKWELL, T.; BEUSE, N.; PARK, B.; SUMMERS, S.; SUMMERS, L. **Evaluation of Stiffness Measures from the US New Car Assessment Program** – Proceedings of the 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), paper no. 527-O – 2003.

TRIANTAPHYLLOU, EVANGELOS **Reduction of Pairwise Comparisons in Decision Making via a Duality Approach** – Journal of Multi-Criteria Decision Analysis - No. 8. pp. 299-310. John Wiley & Sons, Ltd., 1999.

U.S. Department of Transportation. U.S. Department of Transportation: **A Brief History**. Disponível em: <<http://ntl.bts.gov/historian/history.htm>> - 27 / janeiro / 2011>. Acesso em 10 set.2010.

VALLEJOS, Rolando Vargas; GOMES, Jefferson de Oliveira **Applying a Benchmarking Methodology to Empower a Virtual Organisation**. In 6th International Conference on Information Technology for Balanced Automation Systems in Manufacturing and Services (BASYS 2004) – Emerging Solutions for Future Manufacturing Systems – Springer – Viena, 2004.

WHO. World Health Organization. **Dados Estatísticos de Acidentes Trânsito no Mundo**. Genebra: WHO; 2003. Disponível em: <www.who.int>. Acesso em 06 maio 2010.

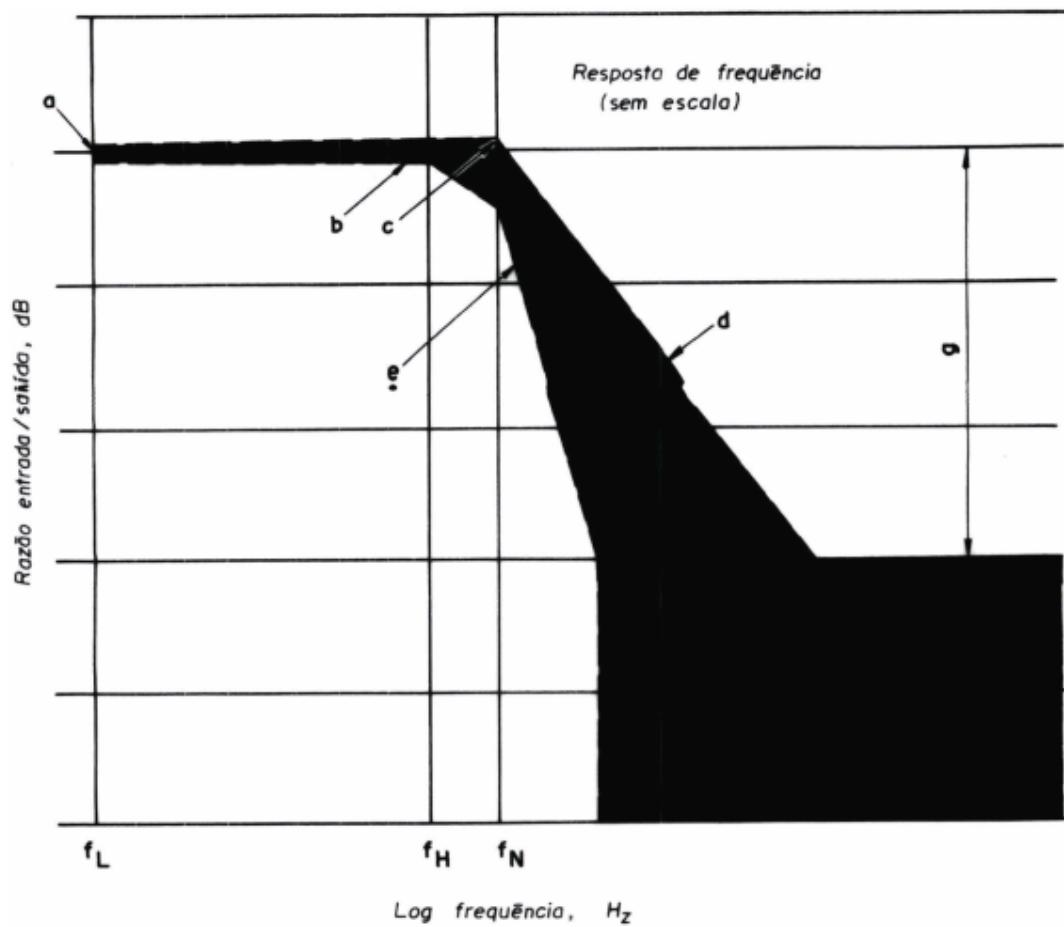
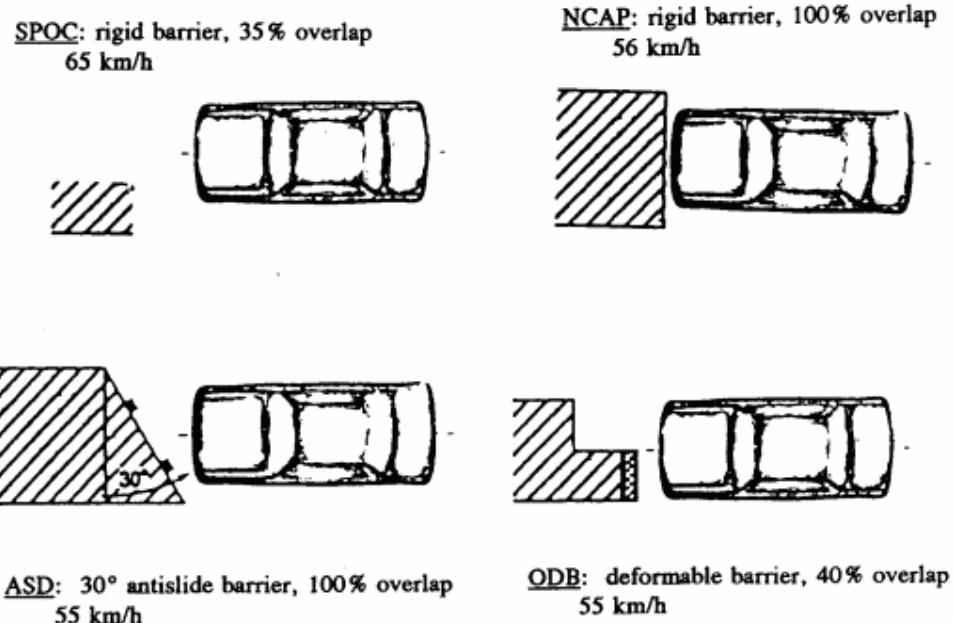
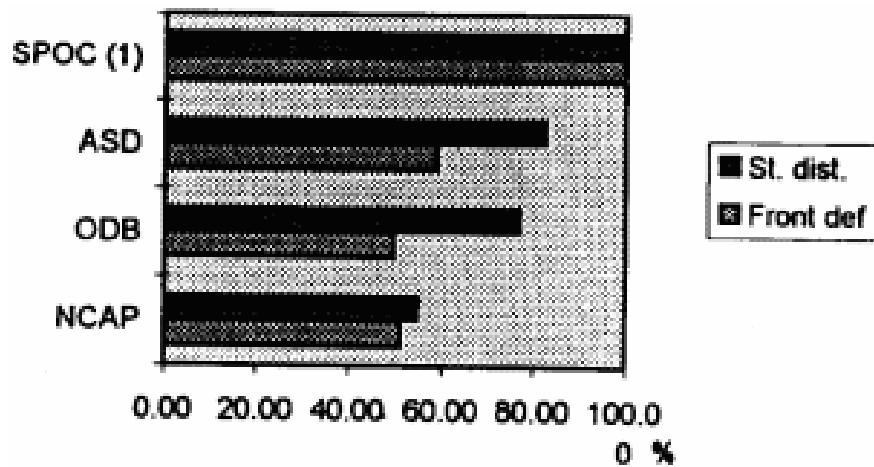
ANEXO A – RESPOSTA DA FREQUENCIA DE CANAL DO CANAL DE MEDIÇÃO

Figura A1 – Precisão Dinâmica do Canal de Medição (ABNT NBR 7735, 1982)

**ANEXO B – FIGURAS DO ARTIGO DE PLANATH-SKOGSMO;
NILSSON (1994)**



[Figura B1](#) – Configuração dos Testes de Impacto (Planath-Skogsmo; Nilsson, 1994)



[Figura B2](#) – Distância de Parada e Deformação Frontal do Carro (Planath-Skogsmo; Nilsson, 1994)

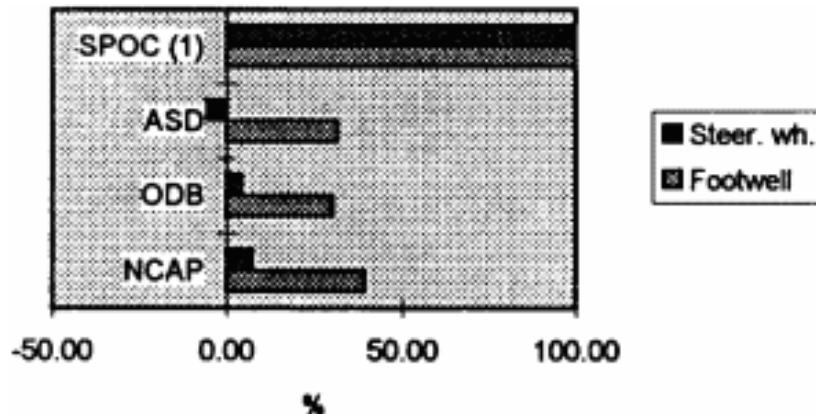


Figura B3 – Intrusão na Região do Compartimento dos Ocupantes (Planath-Skogsmo; Nilsson, 1994)

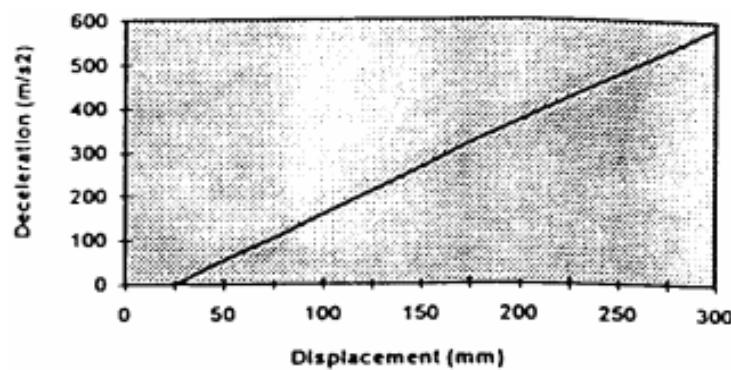


Figura B4 – Característica do Sistema com o Ocupante mais o Sistema de Retenção (Planath-Skogsmo e Nilsson, 1994)

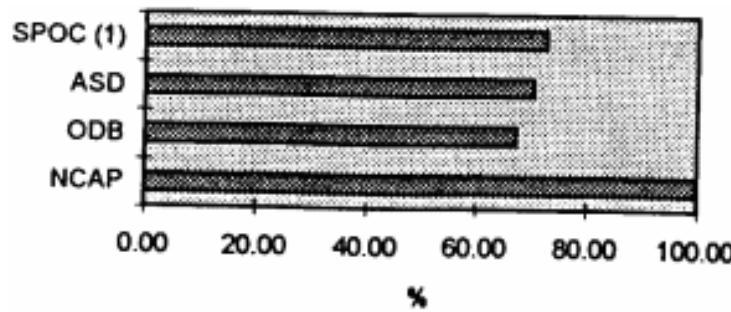


Figura B5 – Índice de Severidade do Pulso - PSI (Planath-Skogsmo; Nilsson, 1994)

**ANEXO C – FIGURAS DO ARTIGO DE MIZUNO; WANI E YONEZAWA
(2003)**

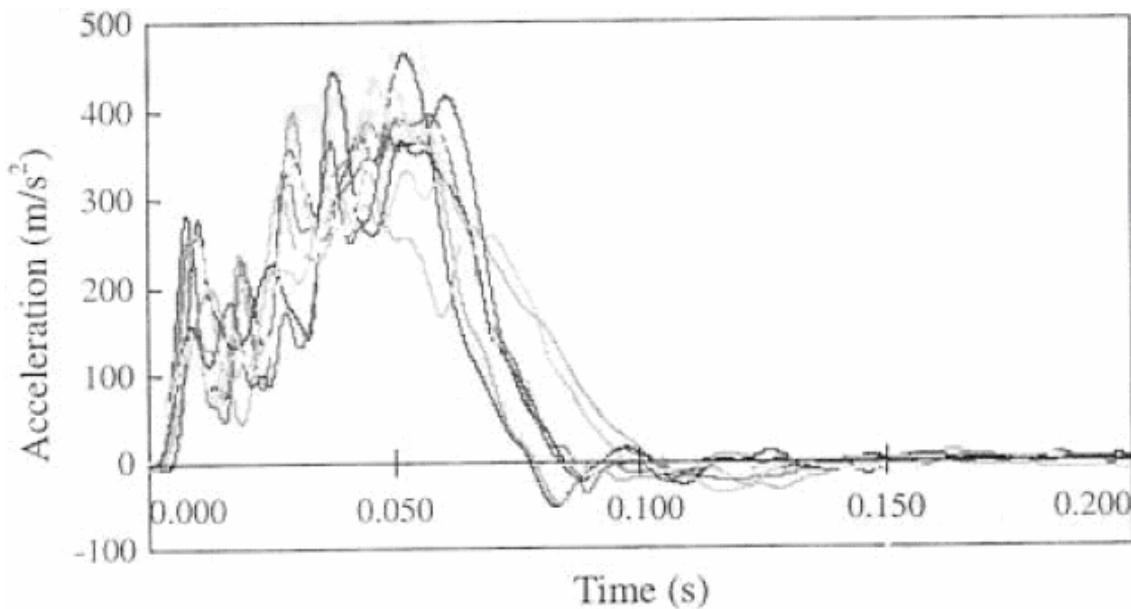


Figura C1 – Gráfico de aceleração por tempo de dez carros pequenos em teste de impacto frontal com sobreposição de 100% (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

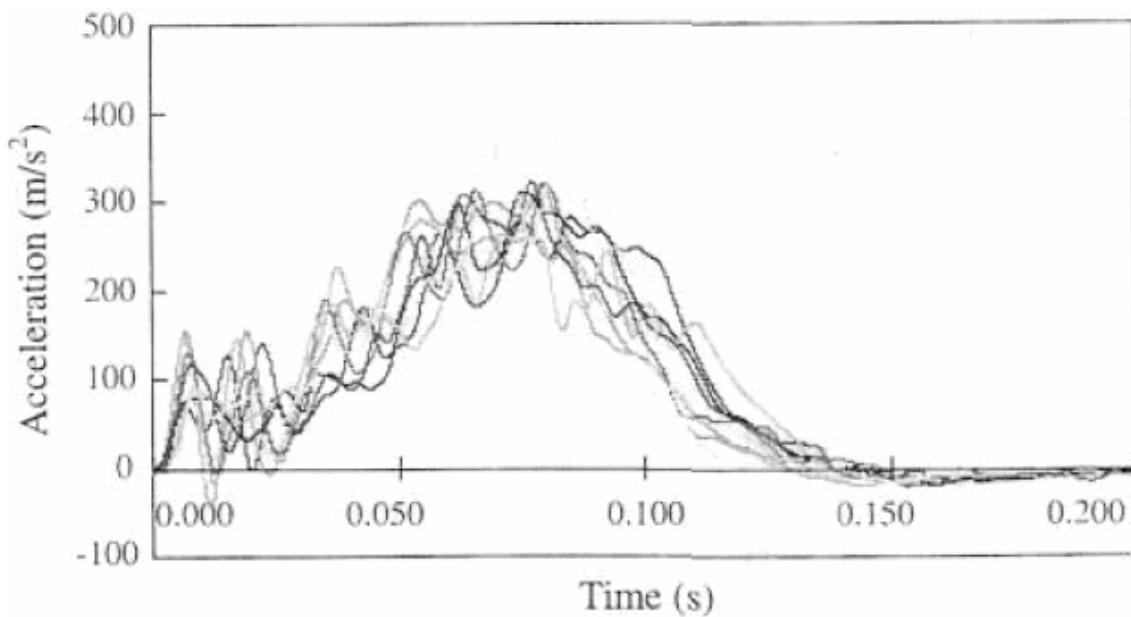


Figura C2 – Gráfico de aceleração por tempo de dez carros pequenos em teste de impacto frontal com sobreposição de 40% (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

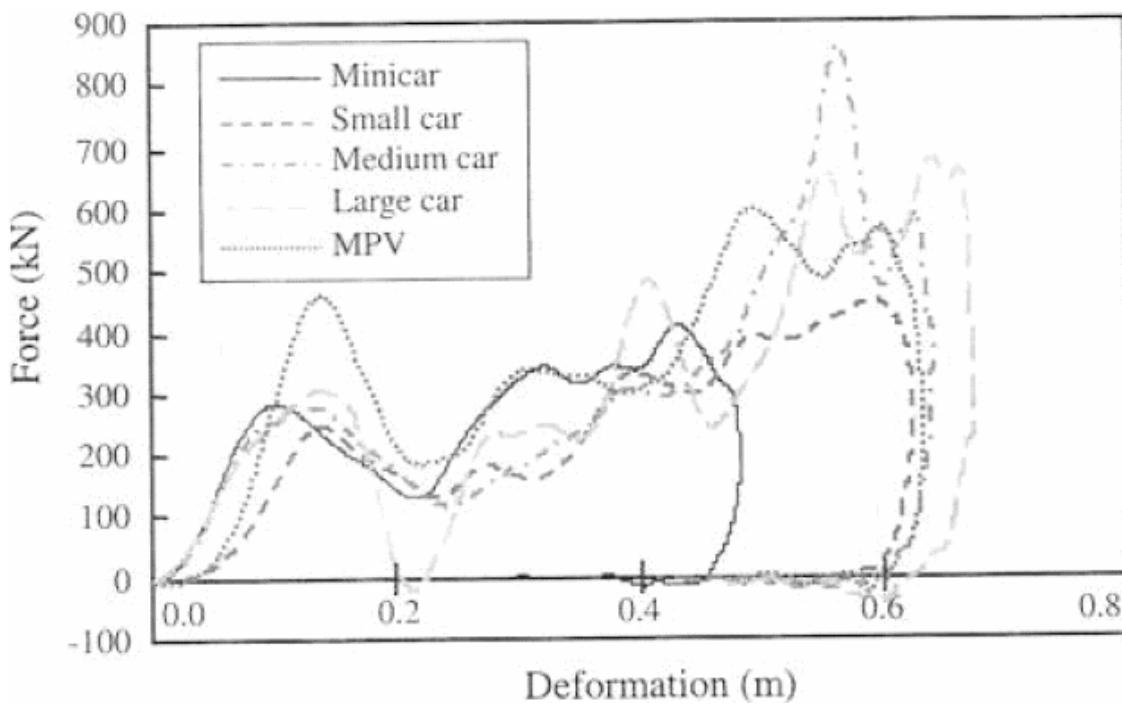


Figura C3 – Características médias de força-deformação por classes de veículo em teste de impacto frontal com 100% de sobreposição (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

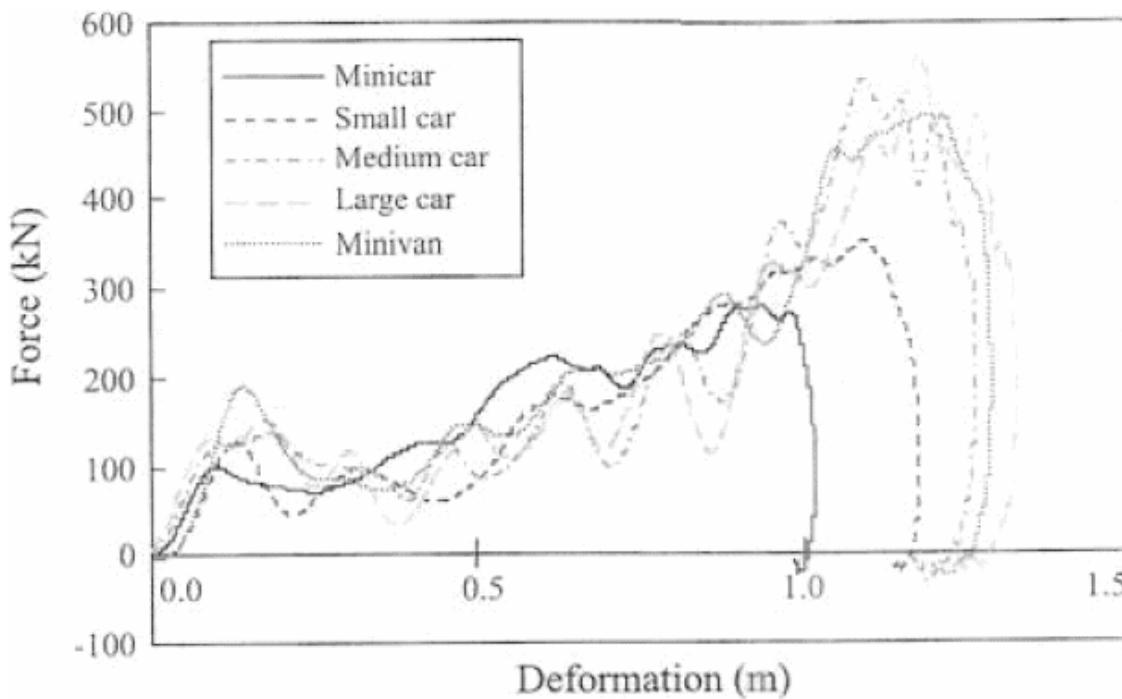


Figura C4 – Características médias de força-deformação por classes de veículo em teste de impacto frontal com 40% de sobreposição (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

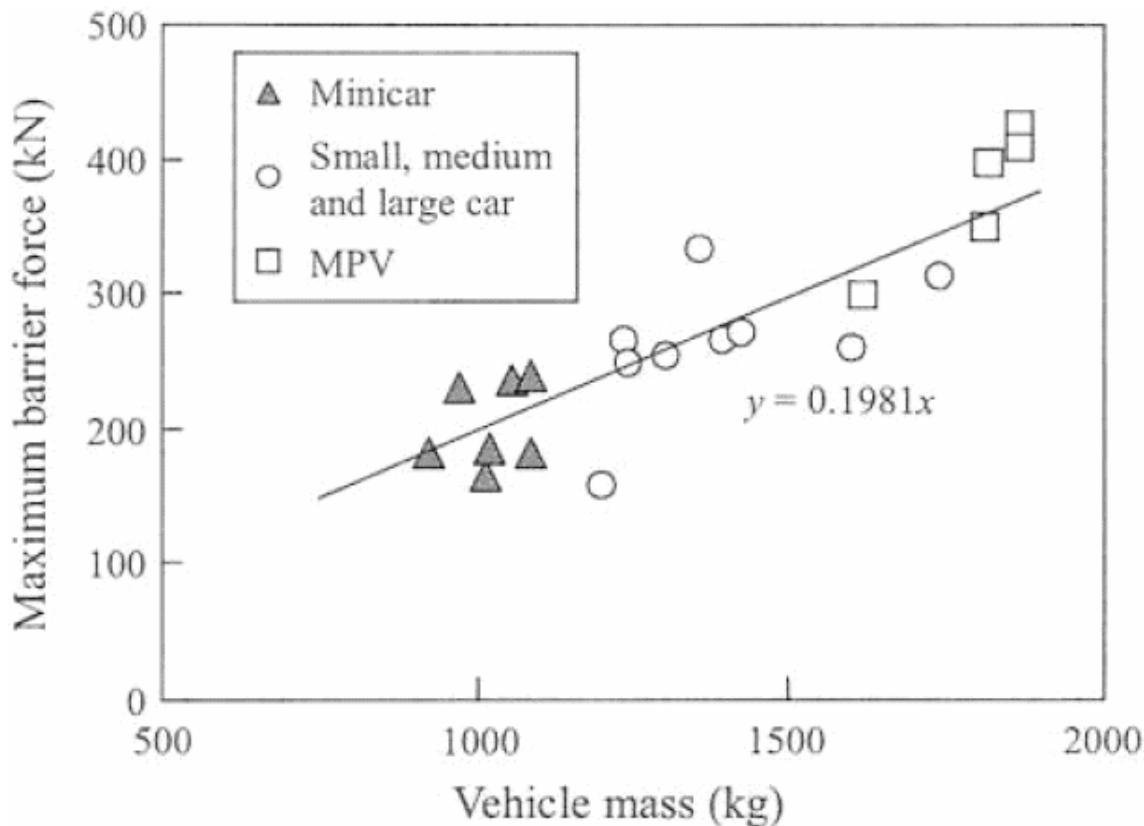


Figura C5 – Relação entre massa dos veículos e força máxima na barreira de impacto (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

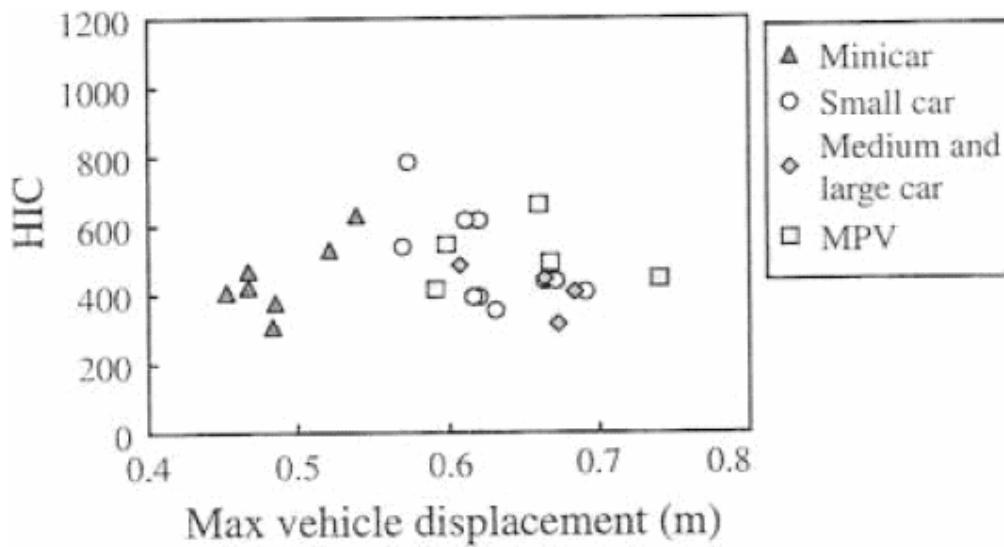


Figura C6 – HIC dos manequins de teste, para o teste com sobreposição de 100% (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

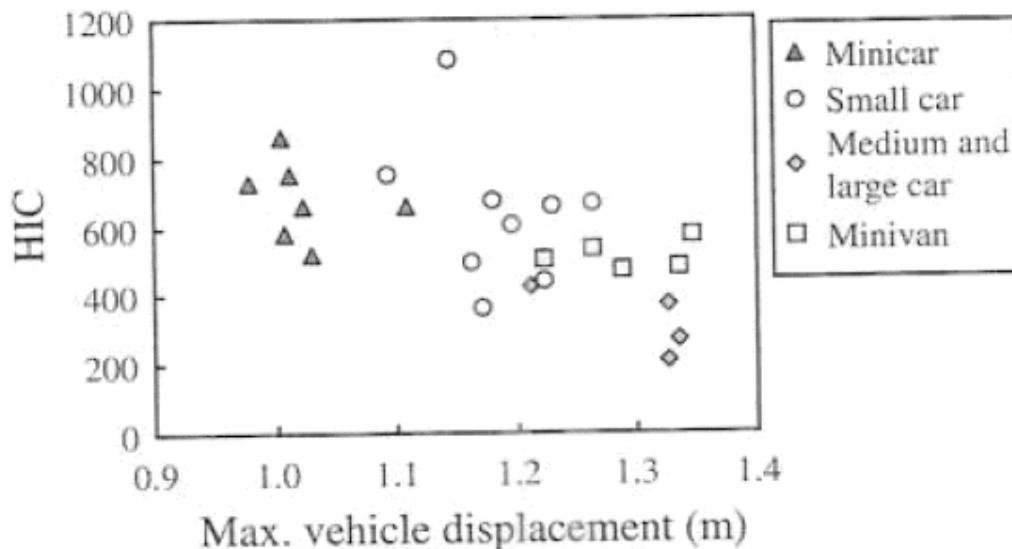


Figura C7 – HIC dos manequins de teste, para o teste com sobreposição de 40% (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

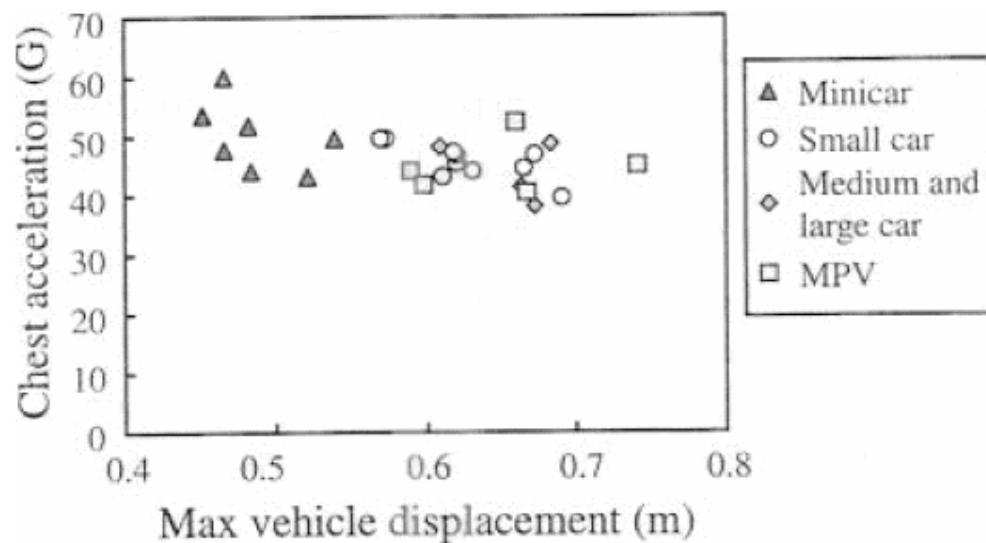


Figura C8 – Desaceleração do peito dos manequins de teste, para o teste de sobreposição 100% (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

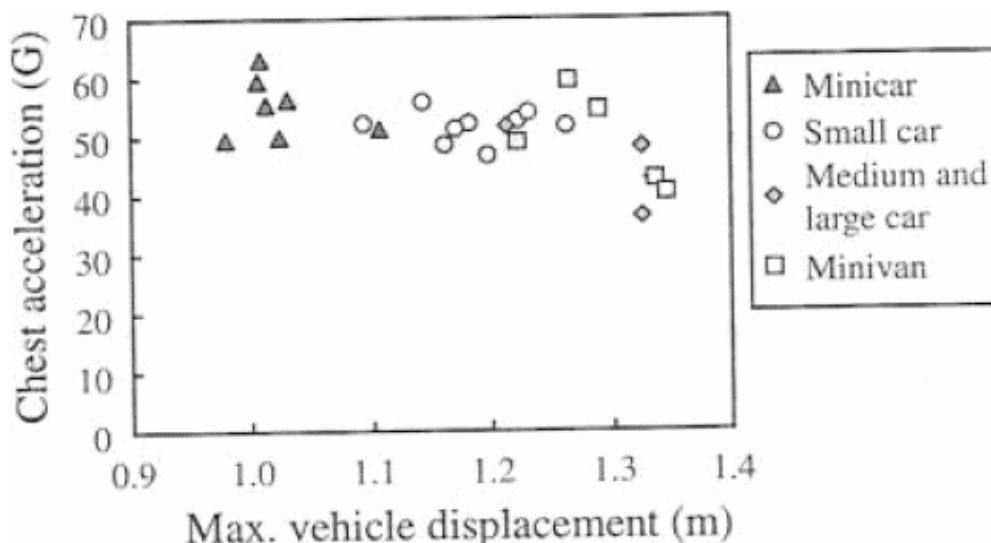


Figura C9 – Desaceleração do peito dos manequins de teste, para o teste de sobreposição 40%
(MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

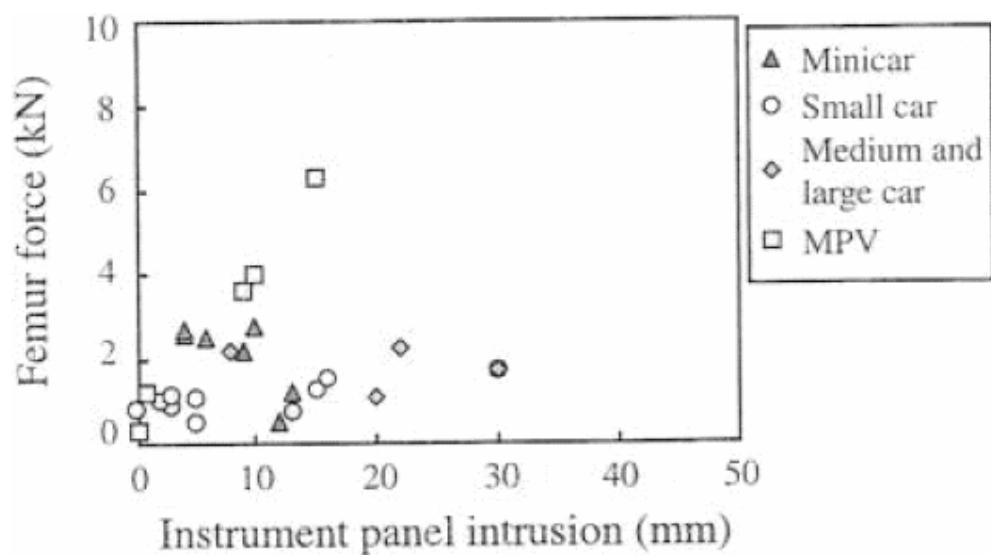


Figura C10 – Força no fêmur direito dos manequins de teste, para o teste de sobreposição 100%
(MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

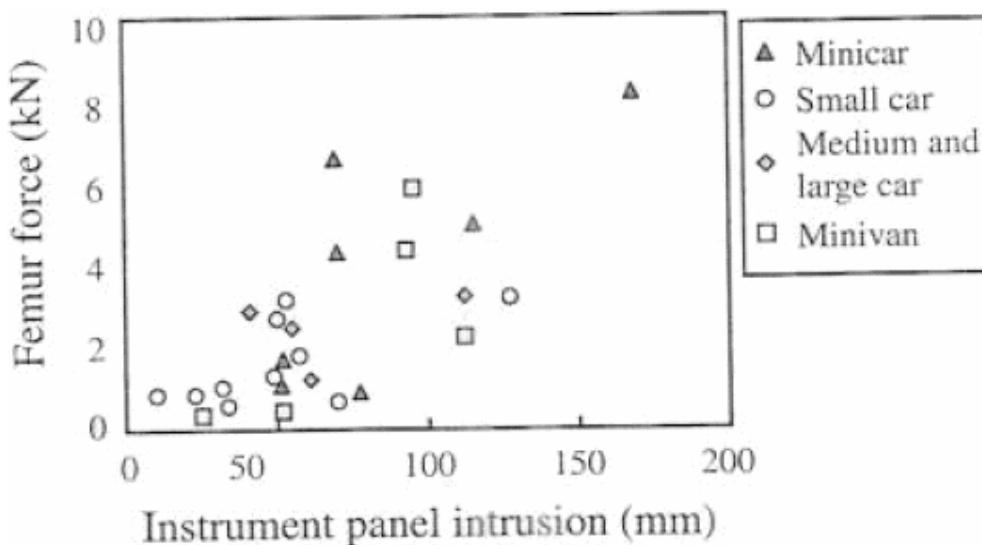


Figura C11 – Força no fêmur direito dos manequins de teste, para o teste de sobreposição 40%
(MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

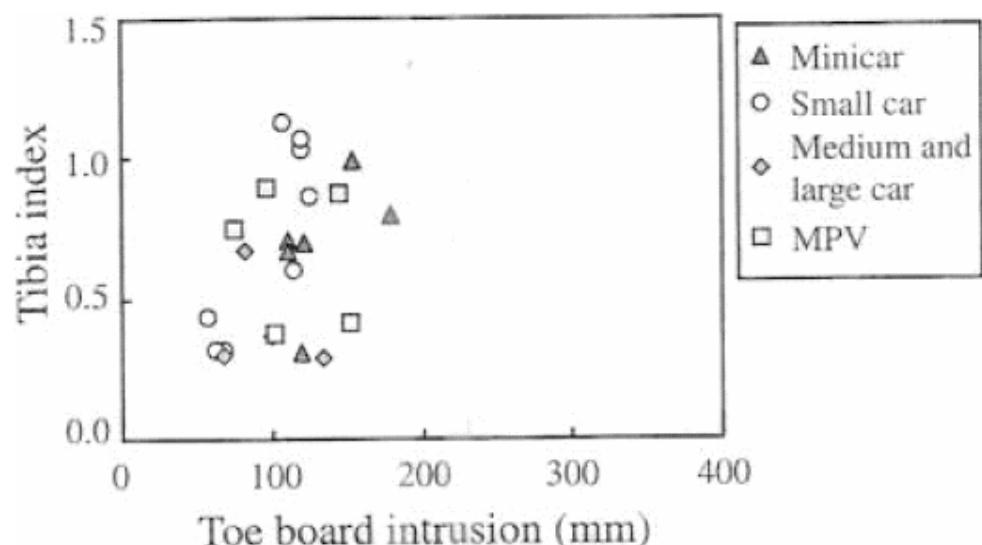


Figura C12 – Índice da tibia dos manequins de teste, para o teste de sobreposição 100% (MIZUNO;
WANI; YONEZAWA, 2003)

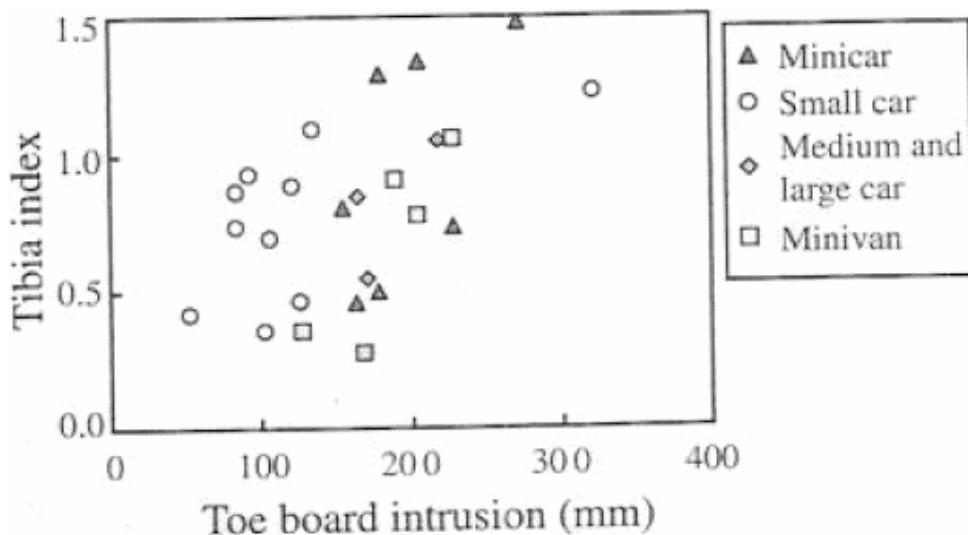


Figura C13 – Índice da tibia dos manequins de teste, para o teste de sobreposição 40% (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

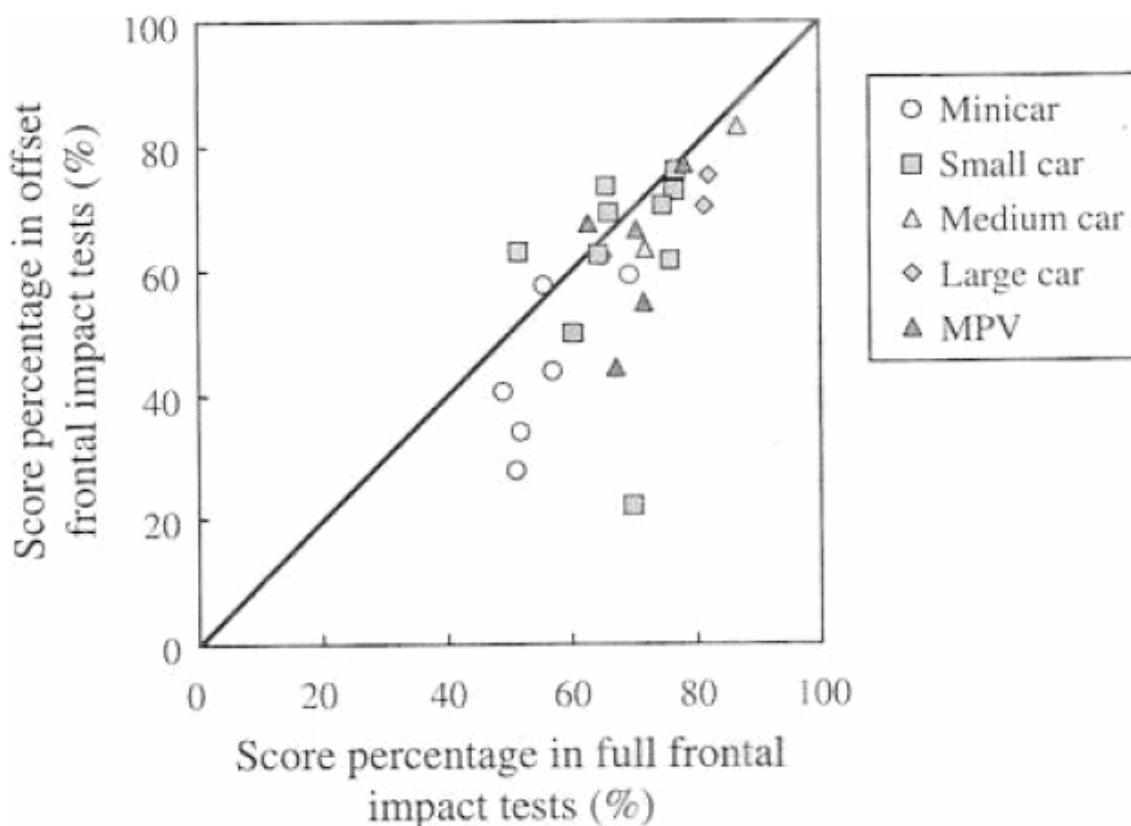


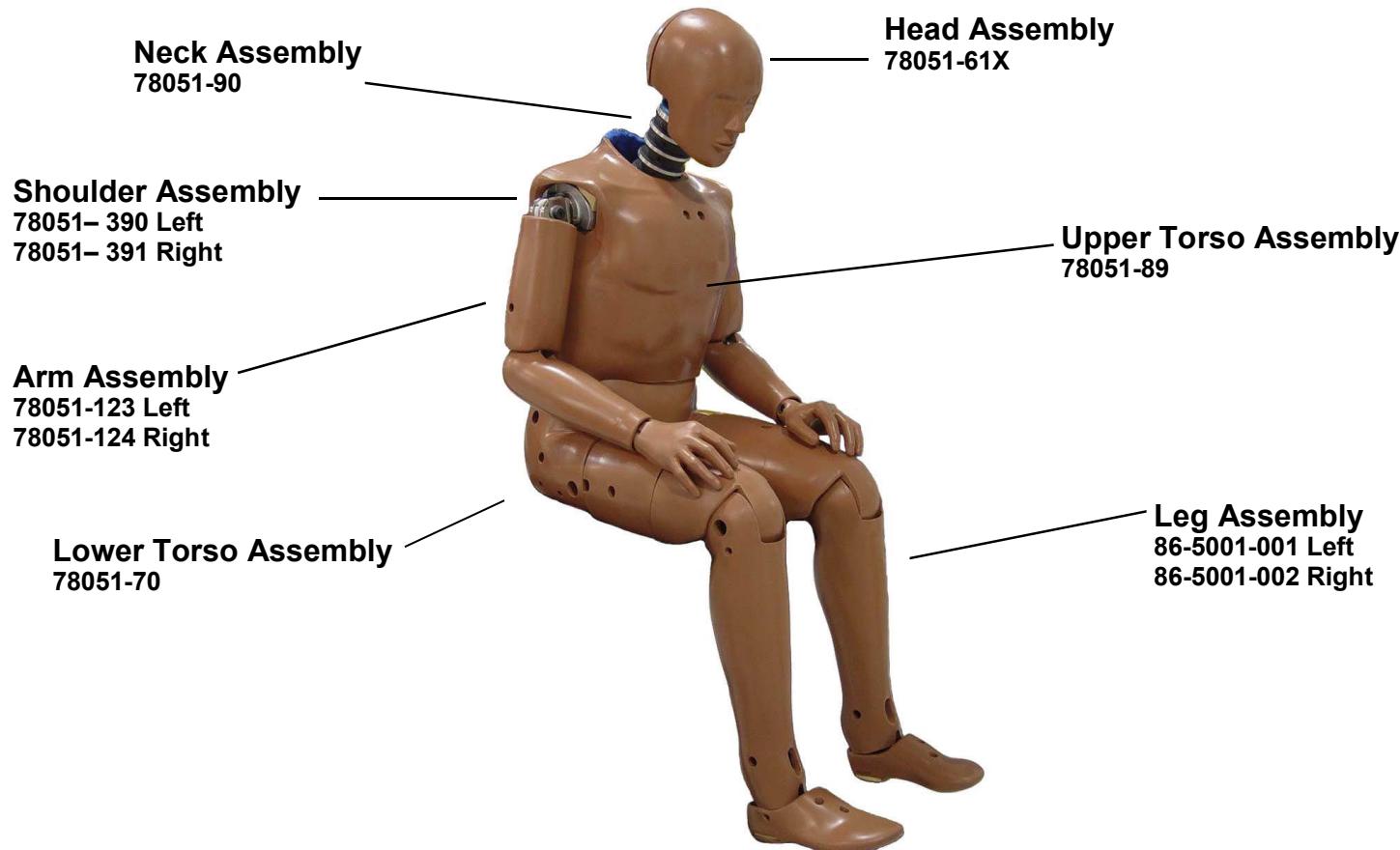
Figura C14 – Relação de pontuação, conforme a JNCAP, para os diferentes modelos, para os testes de impacto frontal com sobreposição de 100% e 40% (MIZUNO; WANI; YONEZAWA, 2003)

**ANEXO D CATÁLOGO MANEQUIM DE TESTE IMPACTO FRONTAL
*HYBRID III PERCENTIL 50 MASCULINO DENTON-VESTA***



Hybrid III 50th Male Full Assembly

VESTA





Hybrid III 50th Male Head Assembly

VESTA





Hybrid III 50th Male Neck Assembly

VESTA

9000447

Screw, FHCS 1/4-20 x 3/4



78051-351-88

Nodding Blocks, Rubber

78051-322

Bushing



78051-297

Nodding Joint



78051-301

Neck Cable

78051-336

Neck, Molded



78051-307*

Upper Neck Bracket
(Ref)

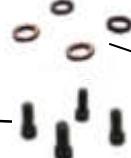


9008007

Washer, Flat .515 ID x .875 OD

9000018

Nut, Hex Jam 1/2 -20



9000005*

Screw, SHCS 1/4-20 x 5/8
(Ref)

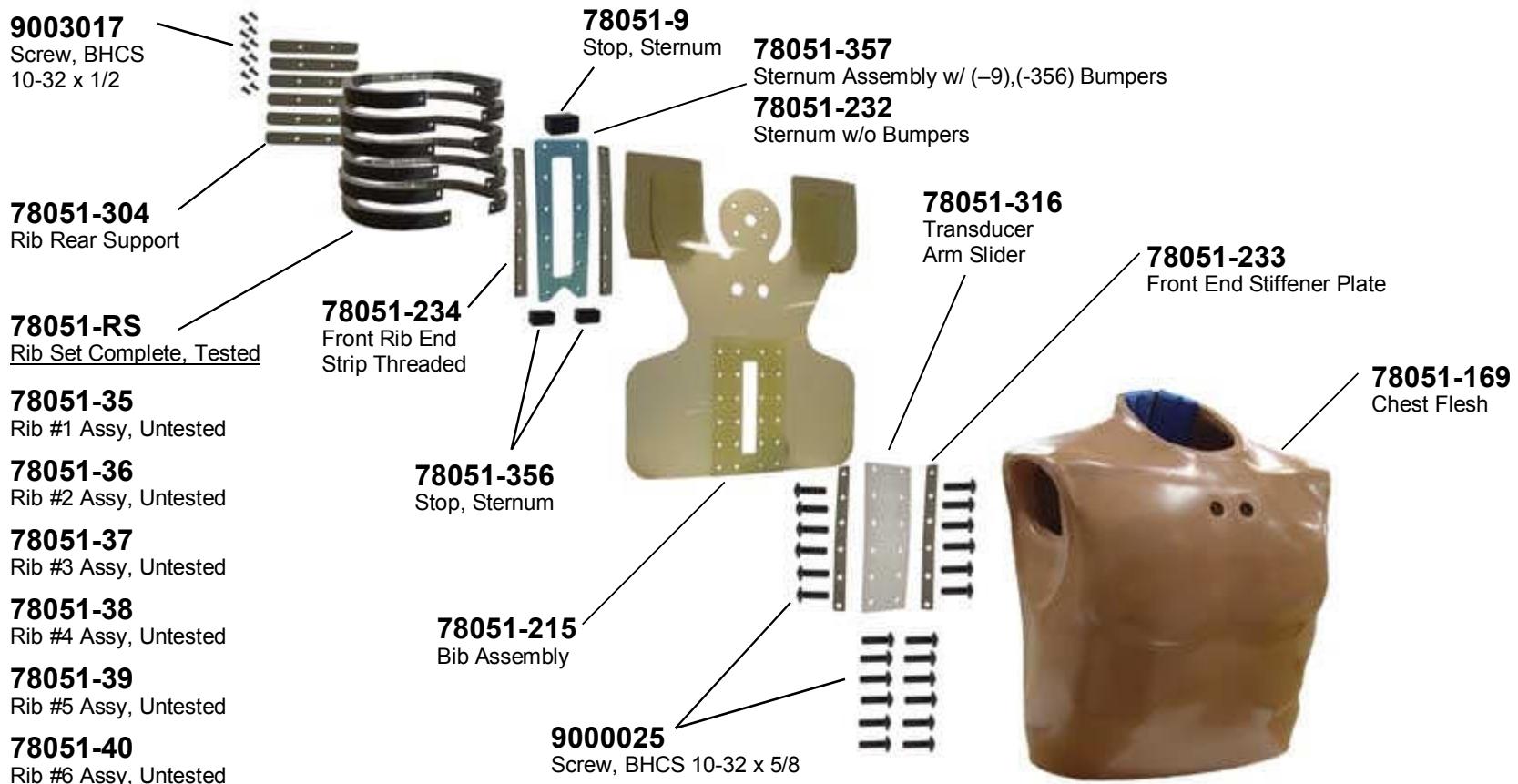
9008001*

Washer, Flat 1/4 x 1/2
(Ref)



Hybrid III 50th Male Chest Components

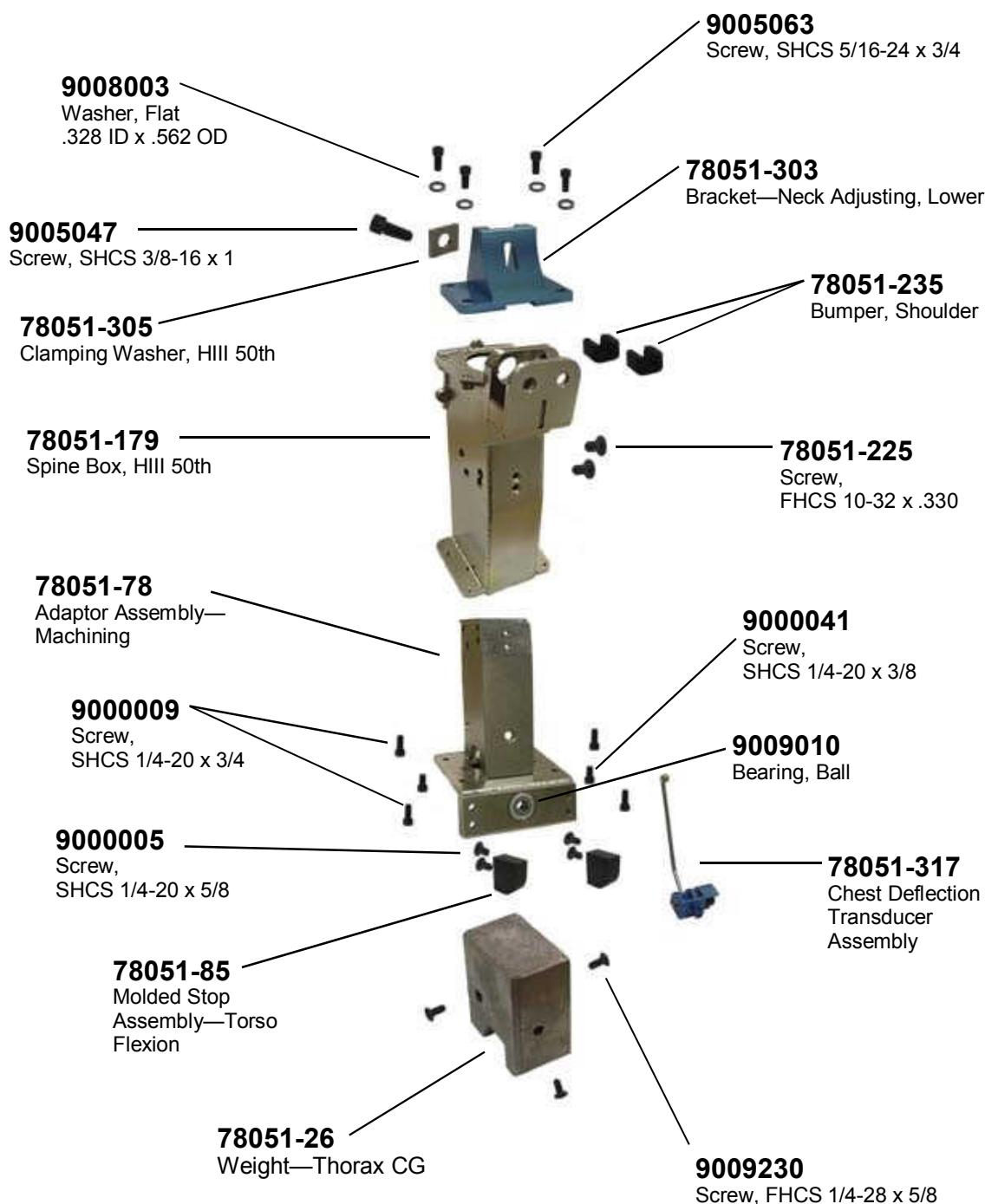
VESTA





Hybrid III 50th Male Thorax Spine Assy

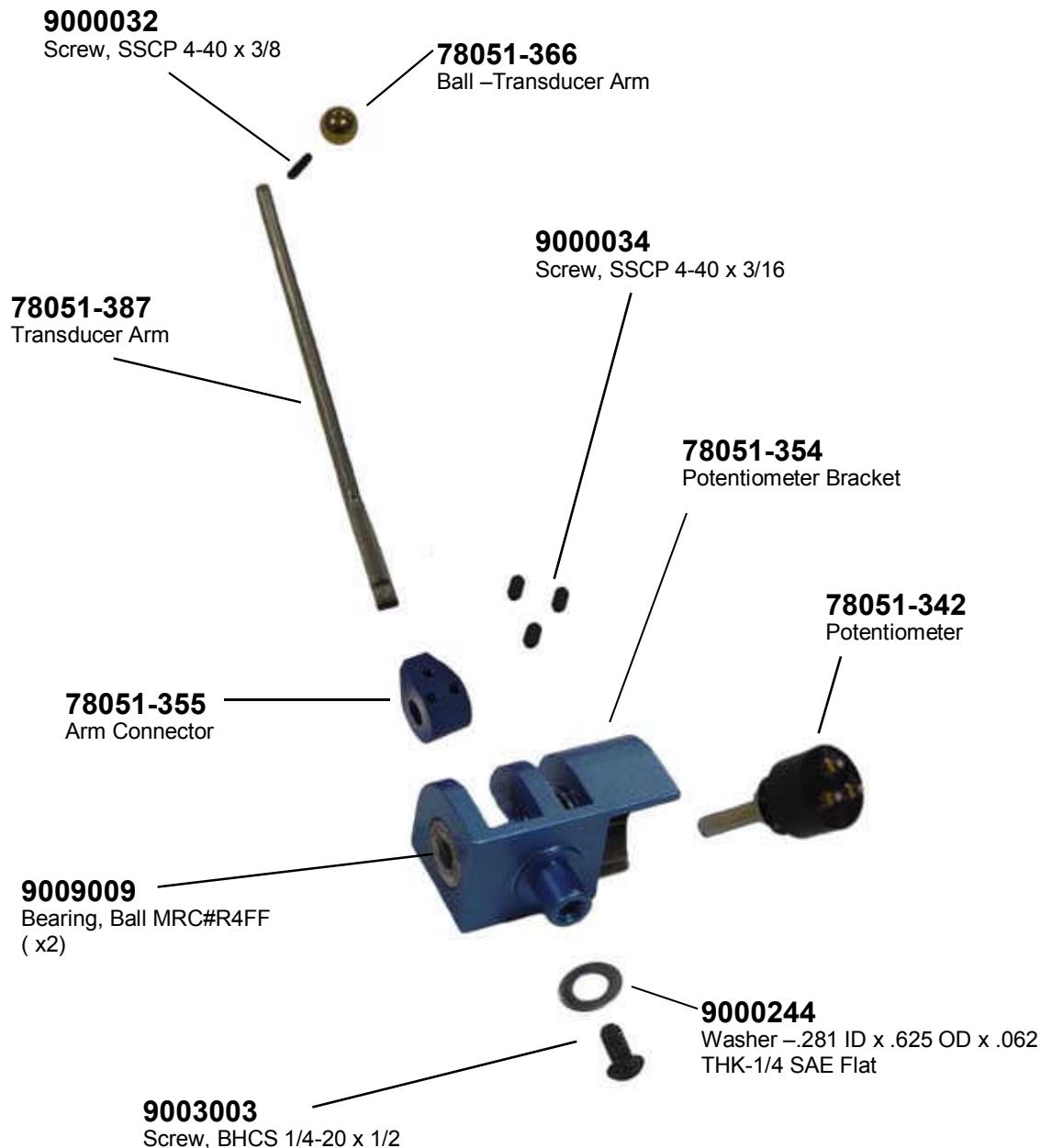
VESTA





Hybrid III 50th Male Transducer Assy

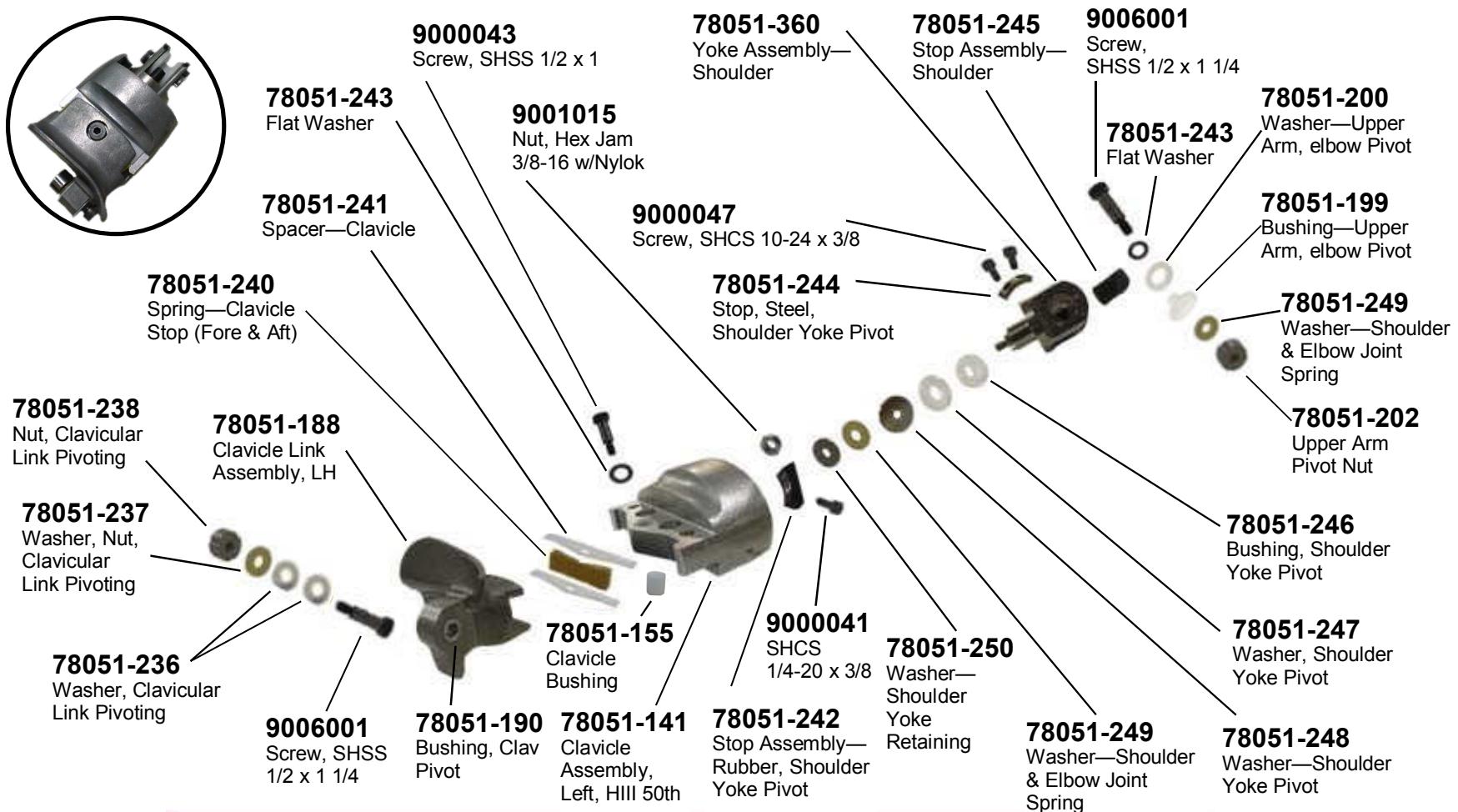
VESTA





Hybrid III 50th Male Left Shoulder Assembly

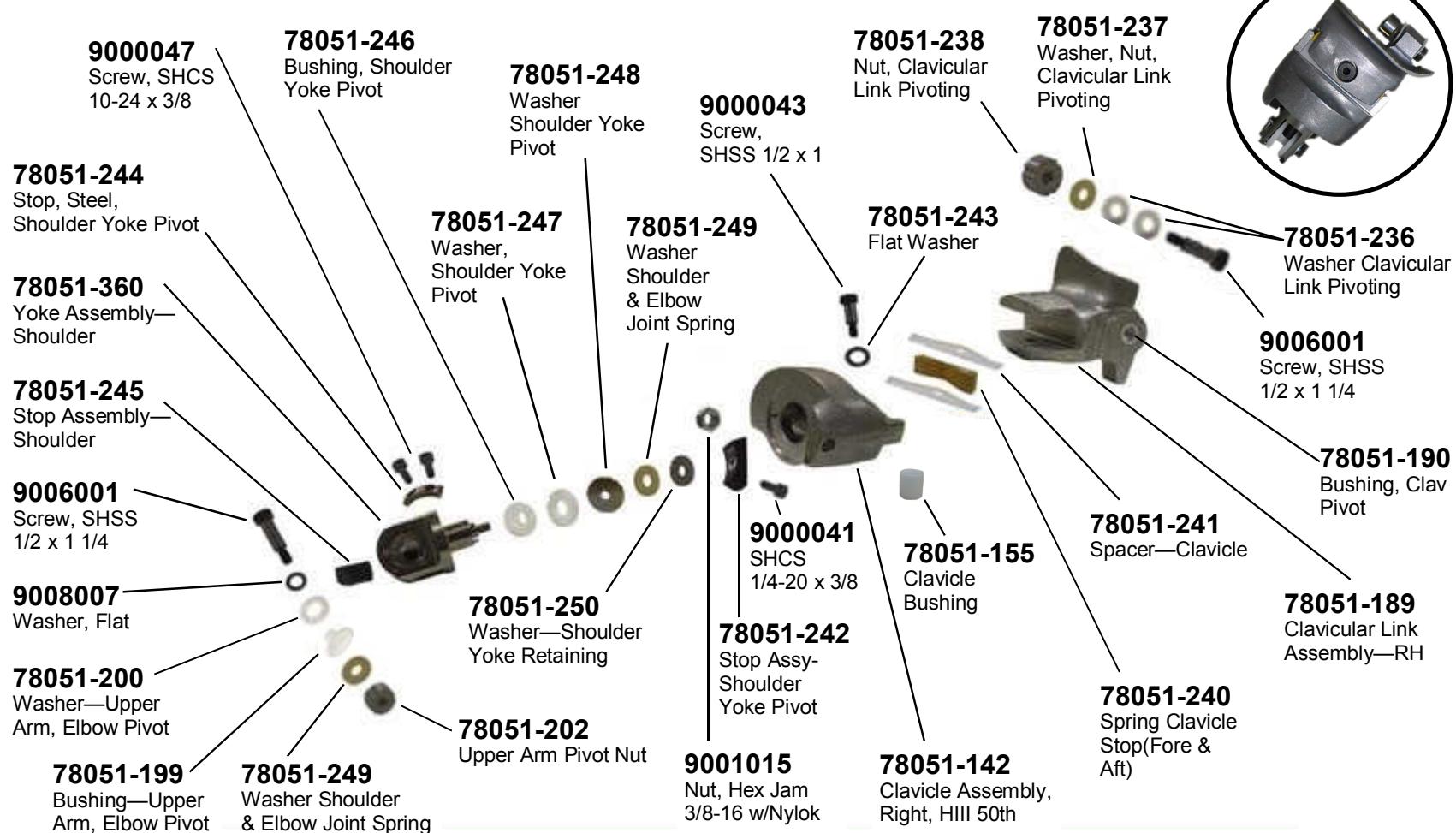
VESTA





Hybrid III 50th Male Right Shoulder Assembly

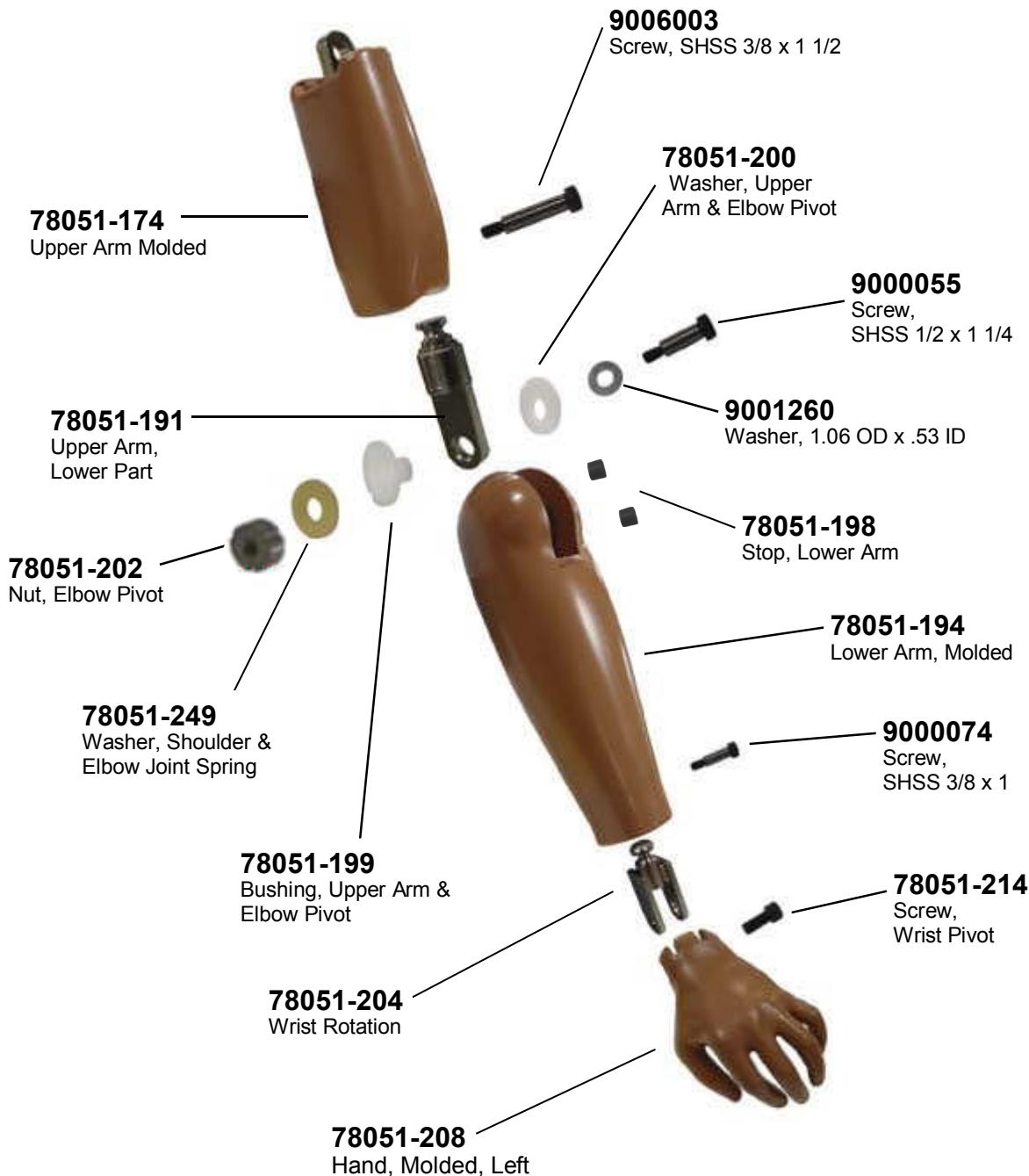
VESTA





Hybrid III 50th Male Left Arm Assembly

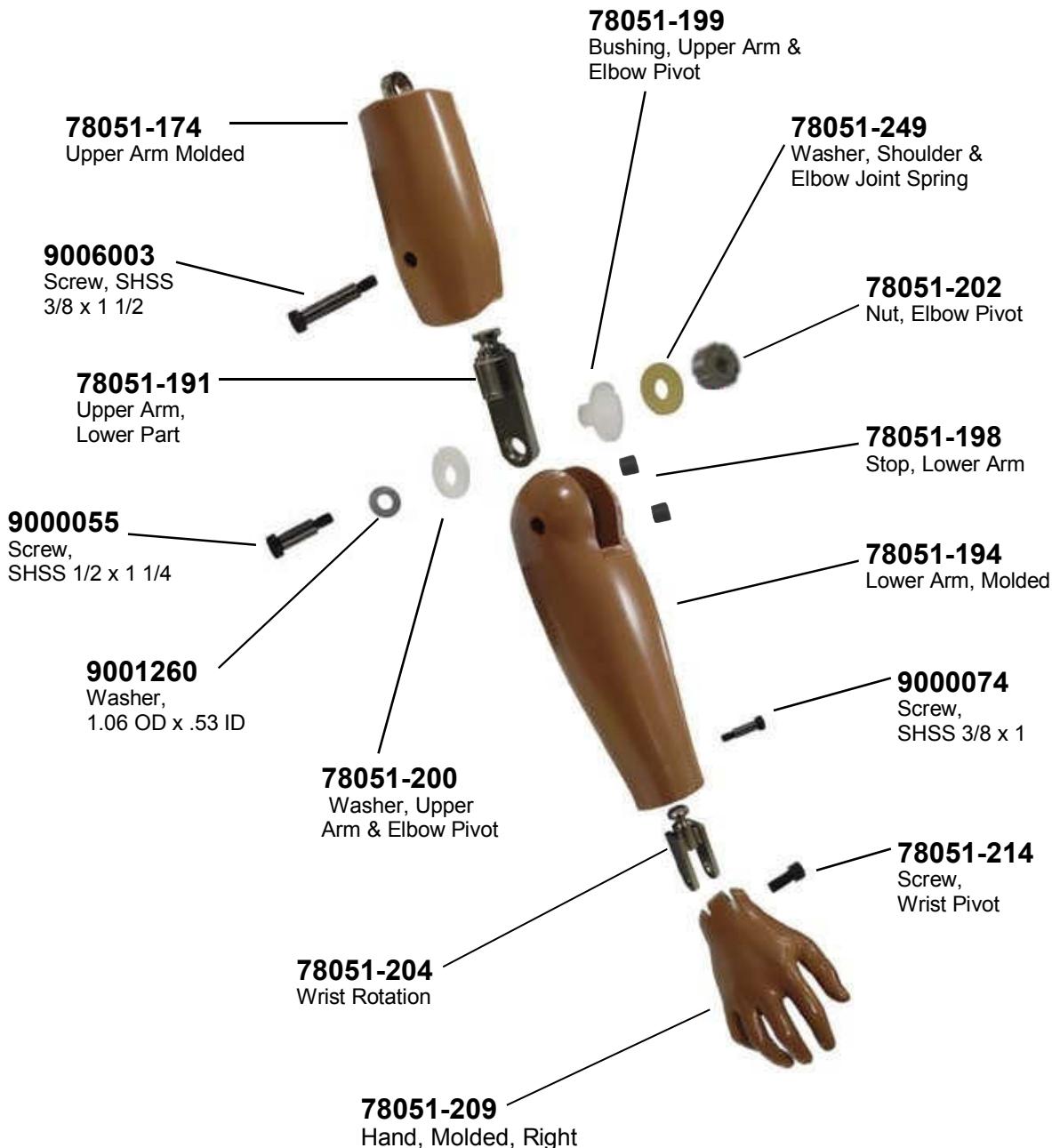
VESTA





Hybrid III 50th Male Right Arm Assembly

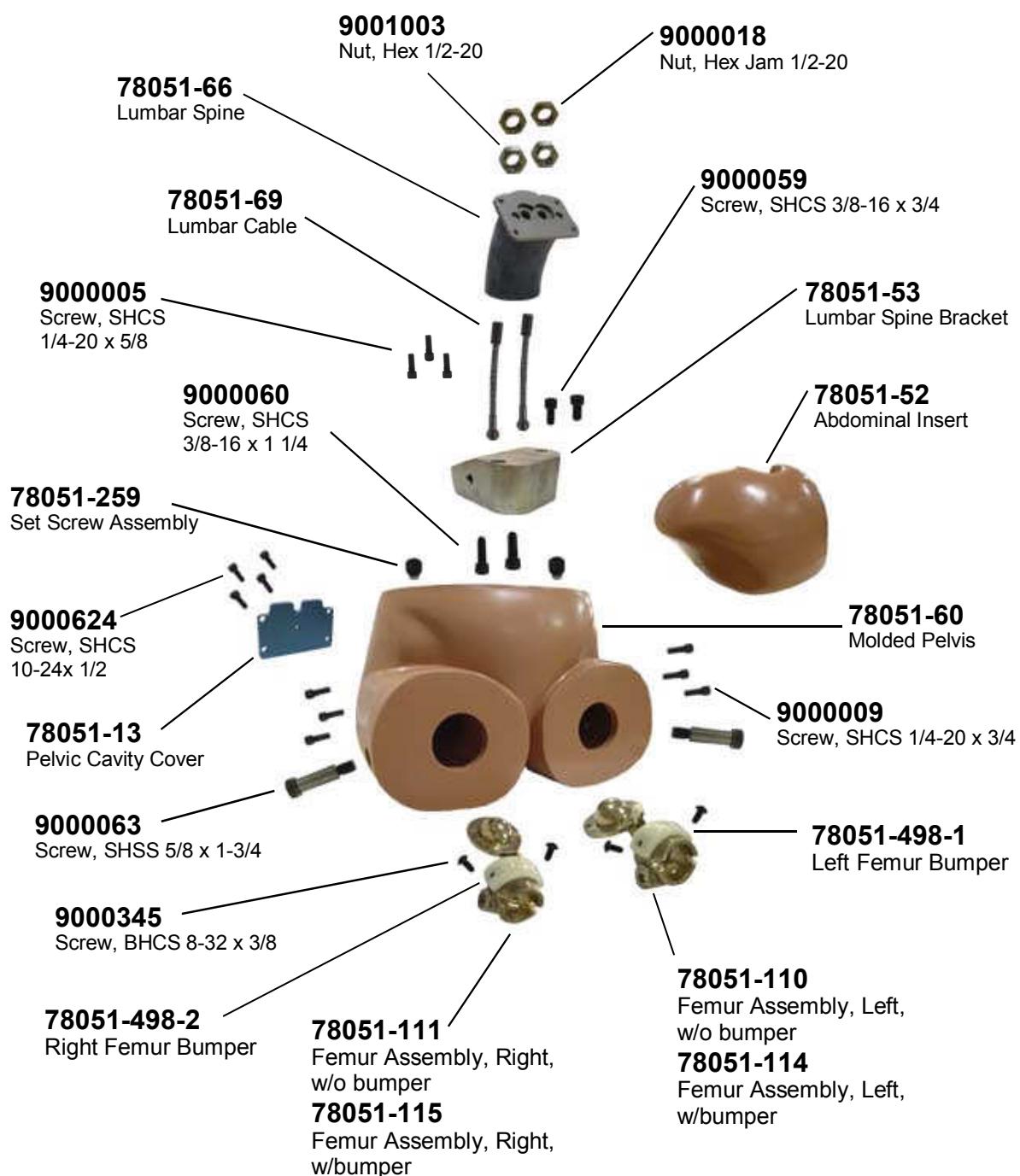
VESTA





Hybrid III 50th Male Lower Torso

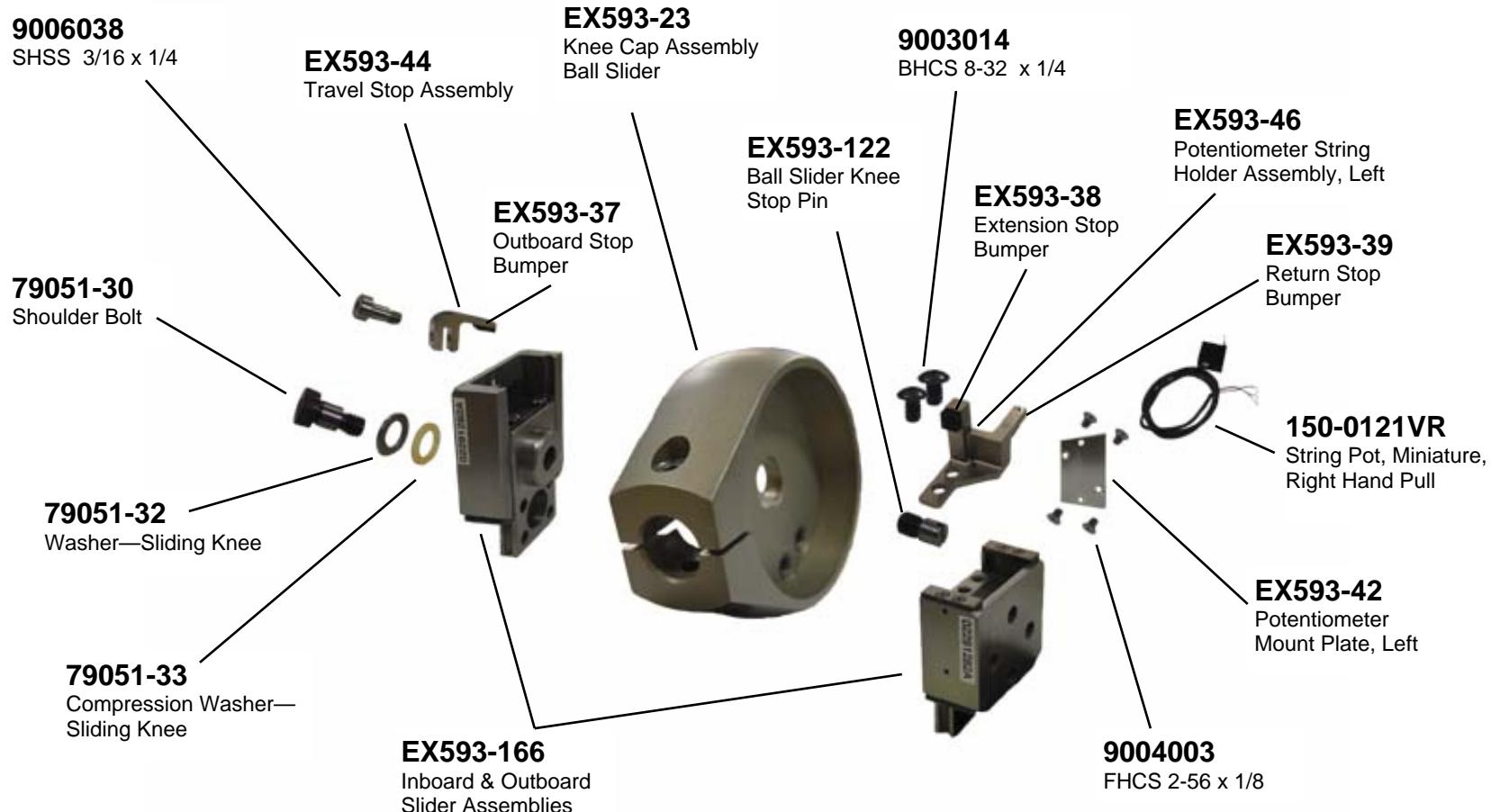
VESTA





Hybrid III 50th Male Left Ball Slider Knee Assembly

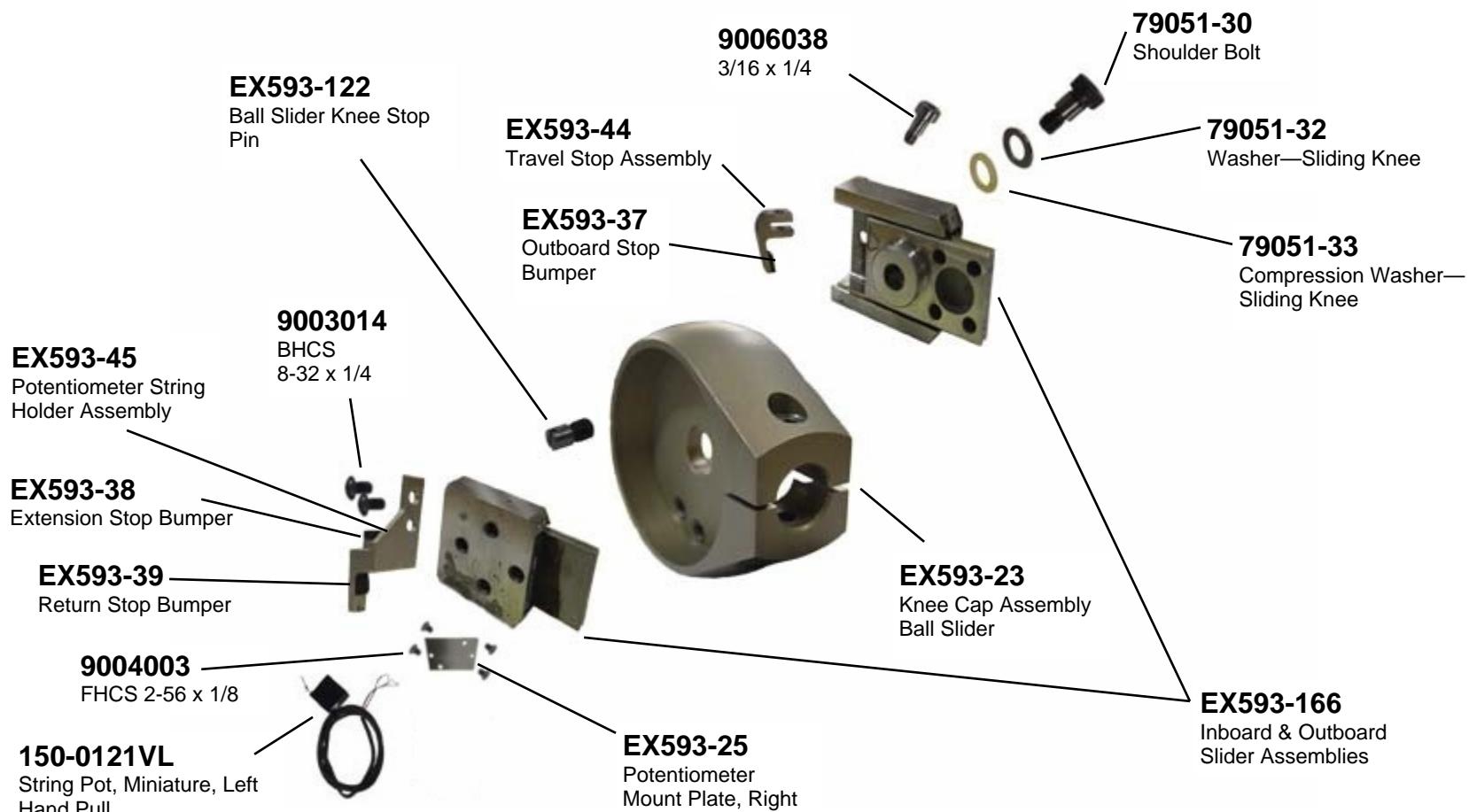
VESTA





Hybrid III 50th Male Right Ball Slider Knee Assembly

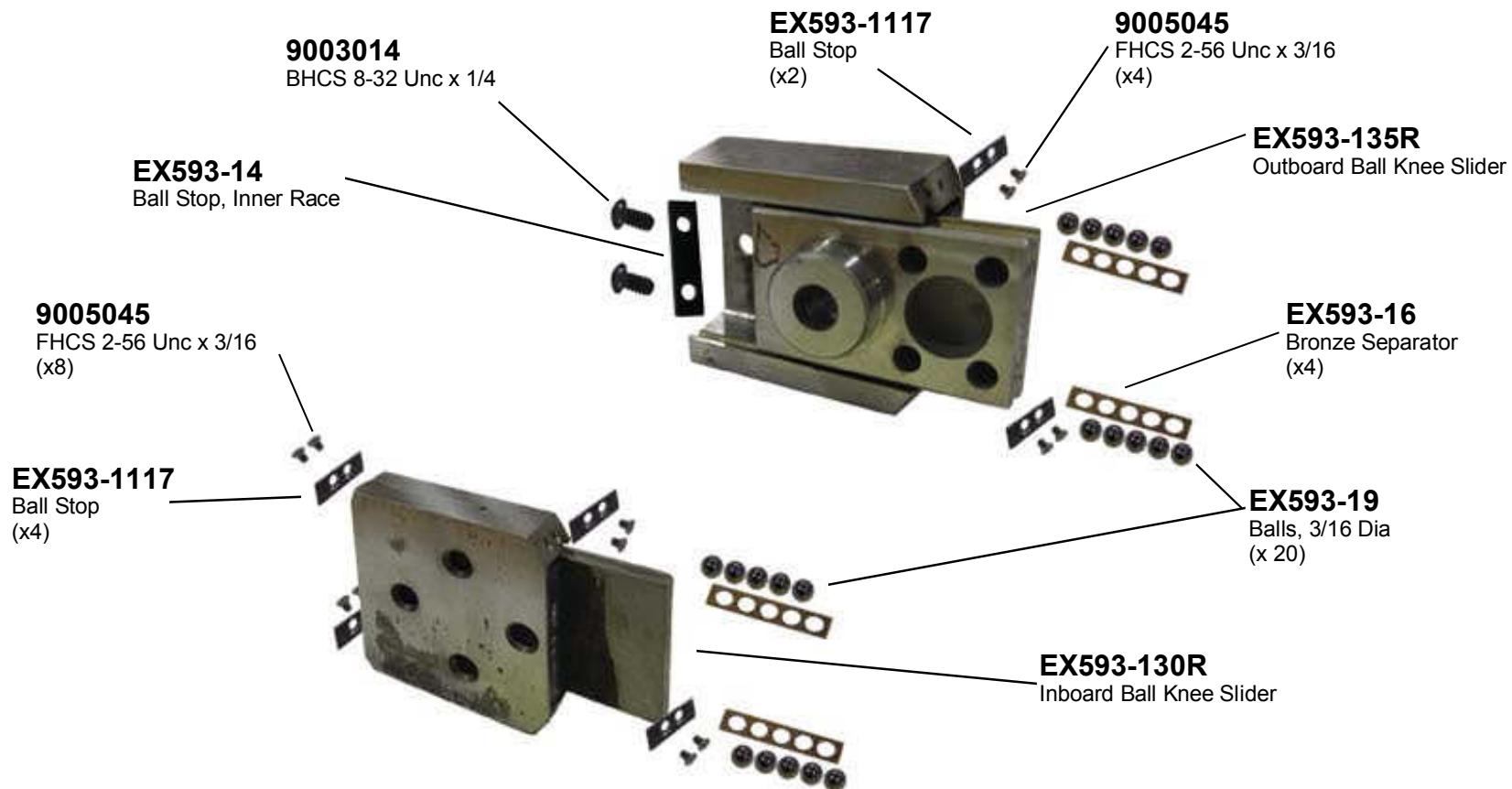
VESTA





Hybrid III 50th Male Ball Slider Assembly

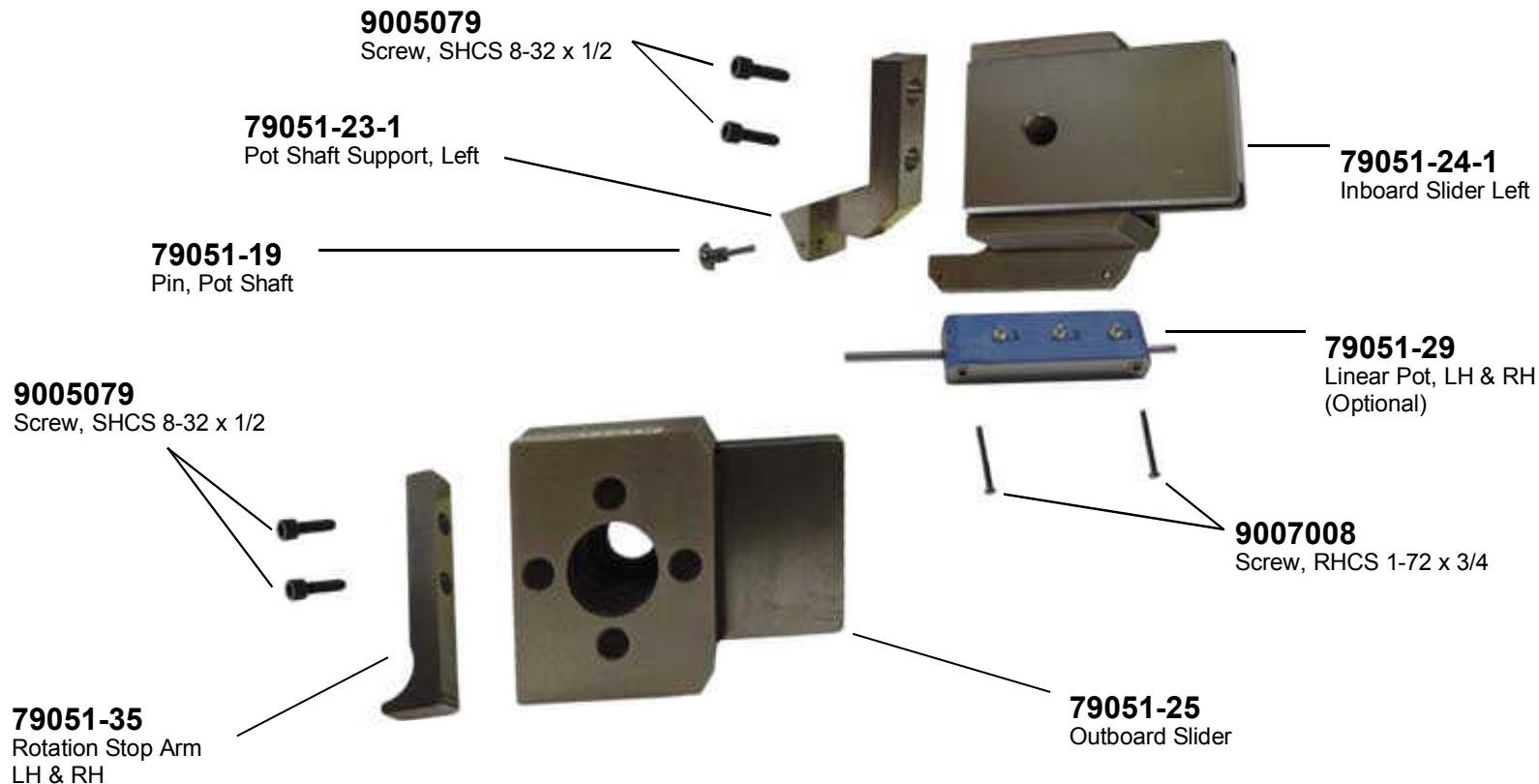
VESTA





Hybrid III 50th Male Left Knee Friction Slider Assy

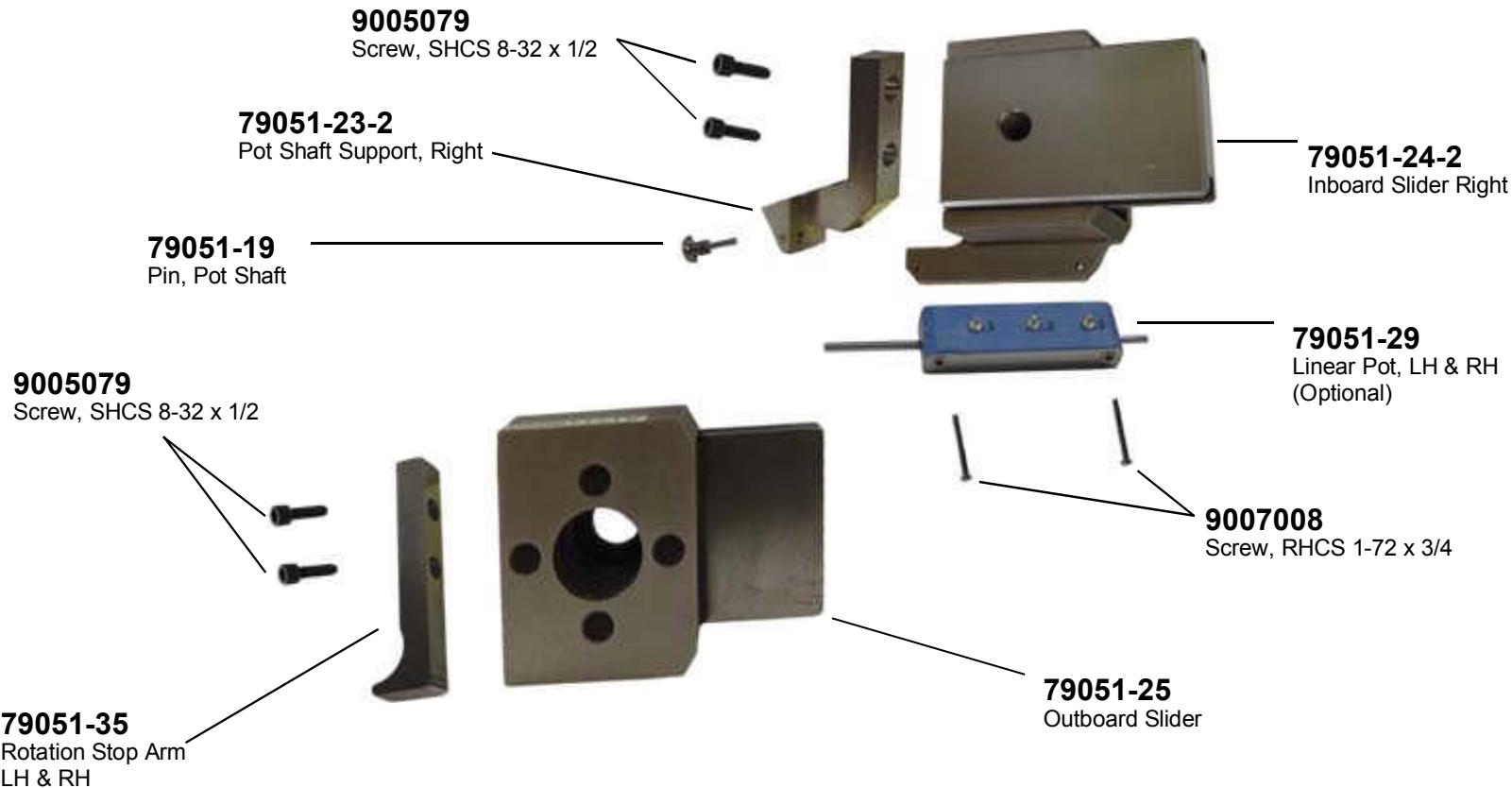
VESTA





Hybrid III 50th Male Right Knee Friction Slider Assy

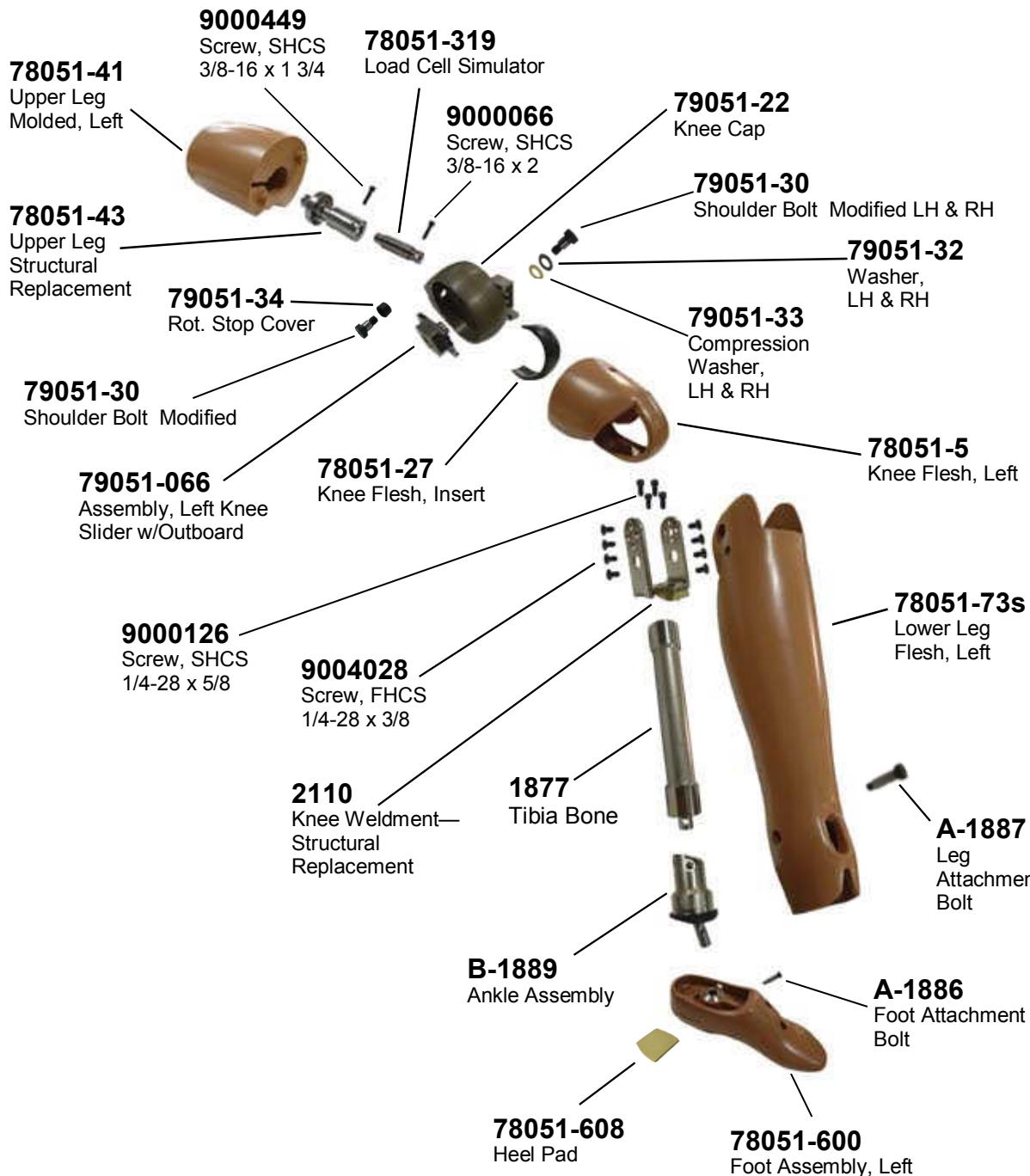
VESTA





Hybrid III 50th Male Left Leg Assembly

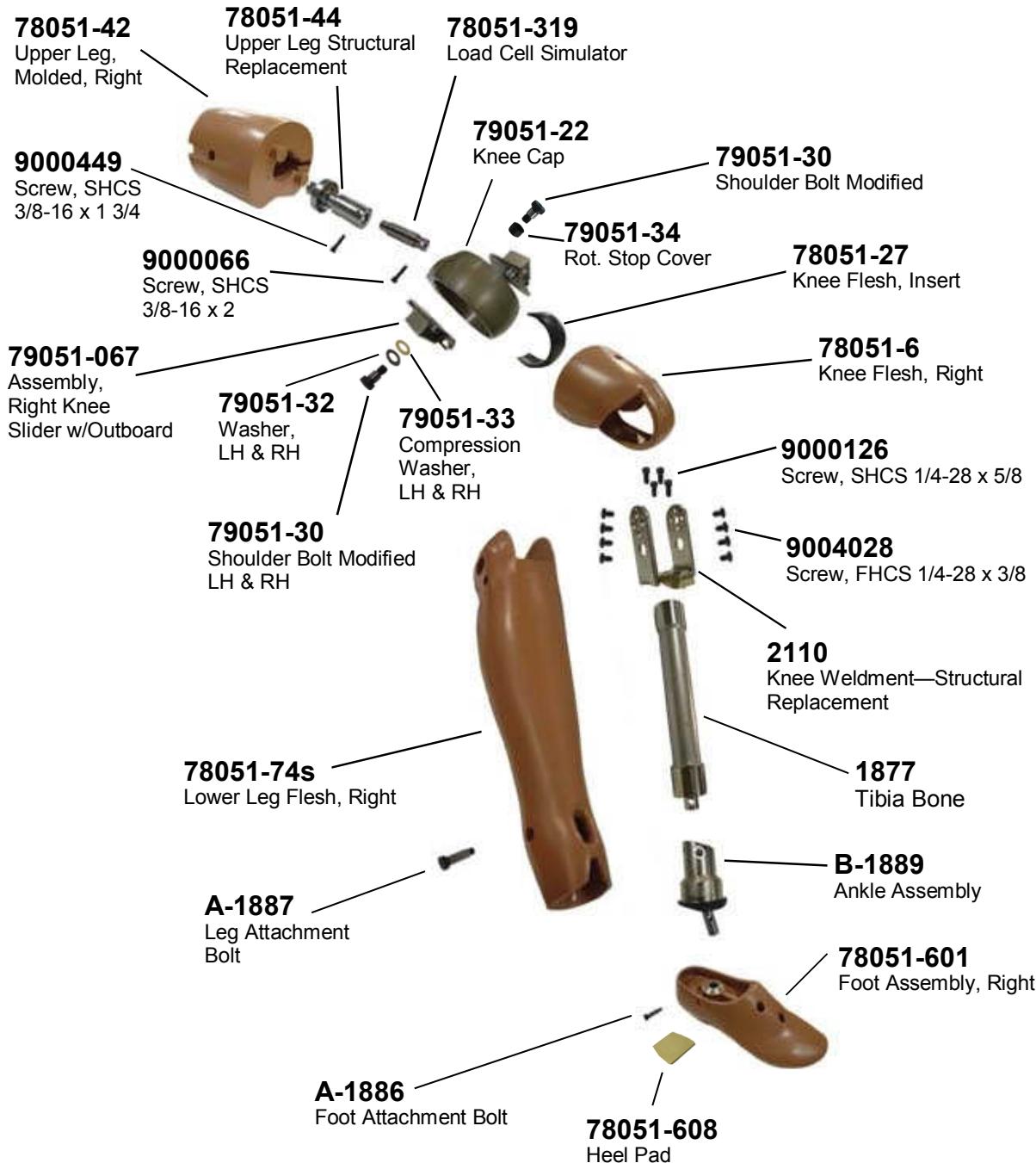
VESTA





Hybrid III 50th Male Right Leg Assembly

VESTA





Hybrid III 50th Male Ankle Assembly

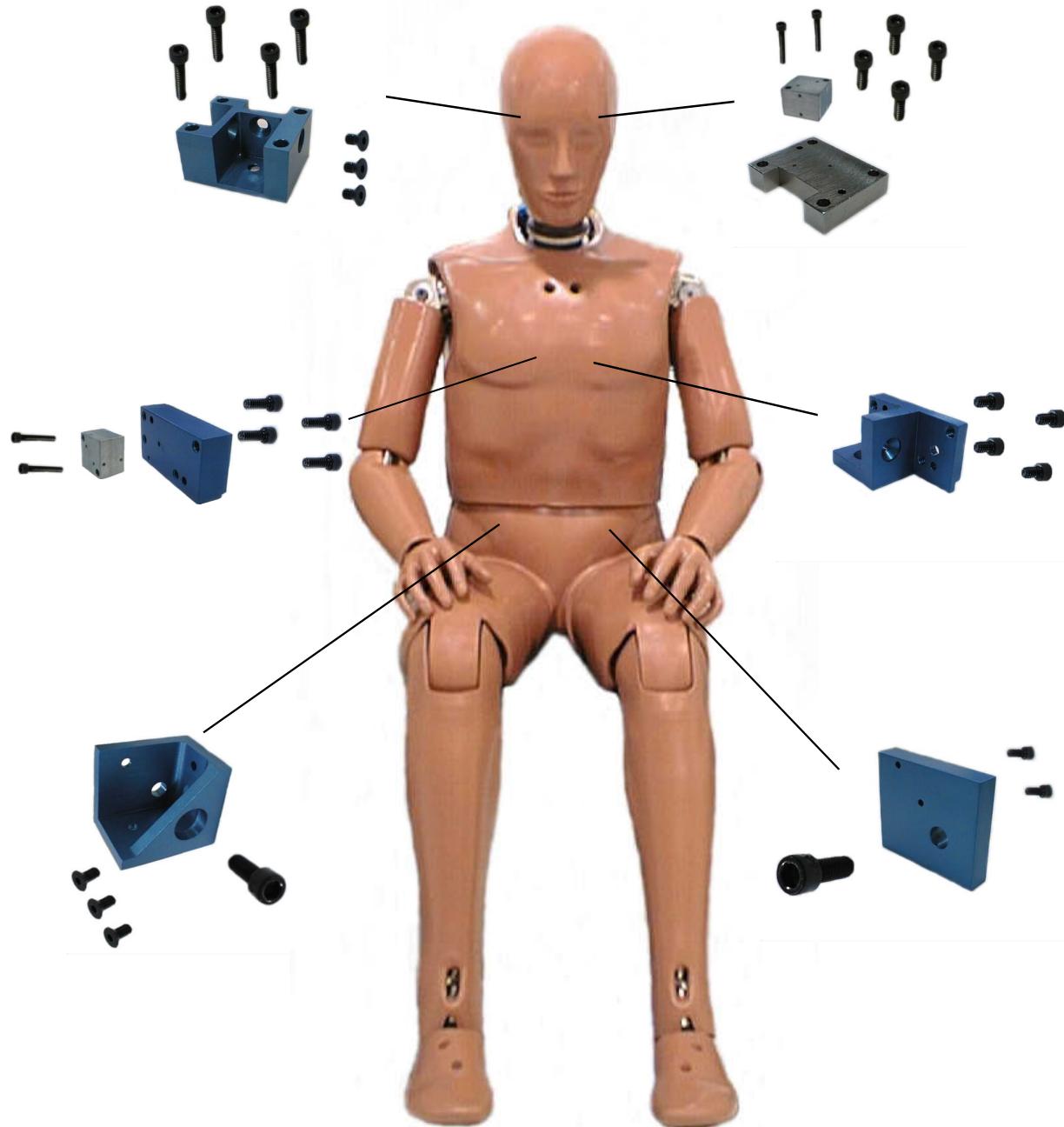
VESTA





Hybrid III 50th Male Accelerometer Mounts

VESTA





Hybrid III 50th Male Accelerometer Mounts

VESTA

50th Mount Packages

78051-7264-20003

Head = 78051-222AG*
Thorax = 78051-156A*
Pelvic = 78051-54A*

78051-7270A6

Head = 78051-222MD-ASSY
Thorax = 78051-156M-ASSY
Pelvic = 78051-54M-ASSY

78051-KYOWA AS-HA3

Head = 78051-222DG*
Thorax = 78051-156D*
Pelvic = 78051-54D*

78051-7264-20006

Head = 78051-222ADS-ASSY
Thorax = 78051-156A*
Pelvic = 78051-54A*

78051-7267A3

Head = 78051-222BGS-ASSY
Thorax = 78051-156B*
Pelvic = 78051-54B*

78051-KYOWA AS-HA6

Head = 78051-222DD*
Thorax = 78051-156D*
Pelvic = 78051-54D*

78051-7264A-20003

Head = 78051-222CG*
Thorax = 78051-156C*
Pelvic = 78051-54C*

78051-7267A6

Head = 78051-222BDS-ASSY
Thorax = 78051-156B*
Pelvic = 78051-54B*
(Standard Package for 6-axis 7267A)

78051-KYOWA-ASHA5MM3

Head = 78051-222IG*
Thorax = 78051-156I*
Pelvic = 78051-54I*

78051-7264A-20006

Head = 78051-222CDS-ASSY
Thorax = 78051-156C*
Pelvic = 78051-54C*

78051-7267AV6

Head = 78051-222GD*
Thorax = 78051-156G*
Pelvic = 78051-54G*

78051-KYOWA-ASHA5MM6

Head = 78051-222ID*
Thorax = 78051-156I*
Pelvic = 78051-54I*

78051-7264B-20003

Head = 78051-222CG*
Thorax = 78051-156C*
Pelvic = 78051-54C*

78051-7231C-7503

Head = 78051-222*
Thorax = 78051-156*
Pelvic = 78051-54*

78051-KYOWA-200BA

Head = 78051-222JD*
Thorax = 78051-156J*
Pelvic = 78051-54J*

78051-7264B-20006

Head = 78051-222CDS-ASSY
Thorax = 78051-156C*
Pelvic = 78051-54C*

78051-7231C-7506

Head = 78051-222D*
Thorax = 78051-156*
Pelvic = 78051-54*

78051-KYOWA-200BA3

Head = 78051-222CG*
Thorax = 78051-156C*
Pelvic = 78051-54C*

78051-7264C-20006

Head = 78051-222ADS-ASSY
Thorax = 78051-156A*
Pelvic = 78051-54A*

78051-7231C-7506

Head = 78051-222D*
Thorax = 78051-156*
Pelvic = 78051-54*

78051-KYOWA-200FA6

Head =
Thorax = 78051-156N*
Pelvic = 78051-54N*



Hybrid III 50th Male Head Mounts

VESTA

<p>78051-222*</p> <p>10-24 x 1 1/2</p> <p>78051-222</p> <p>78051-225</p>	<p>78051-222AD*</p> <p>2-56 x 5/8</p> <p>10-24 x 5/8</p> <p>78051-222AD</p> <p>7264-A</p>	<p>78051-222ADS-ASSY</p> <p>2-56 x 5/8</p> <p>10-24 x 5/8</p> <p>7264-A</p> <p>78051-222ADS</p>
<p>78051-222AG*</p> <p>2-56 x 5/8</p> <p>7264-A</p> <p>10-24 x 1</p> <p>78051-222AG</p>	<p>78051-222BDS-ASSY</p> <p>10-24 x 1/2</p> <p>4-40 x 3/16</p> <p>78051-222BDS</p> <p>4-40 x 1/8</p>	<p>78051-222BGS-ASSY</p> <p>10-24 x 1</p> <p>78051-222BGS</p> <p>4-40 x 1/8</p>



Hybrid III 50th Male Head Mounts (Con't)

VESTA

<p>78051-222CD*</p> <p>2-56 x 5/8</p> <p>7264-B</p> <p>10-24 x 5/8</p> <p>78051-222CD</p>	<p>78051-222CDS-ASSY</p> <p>2-56 x 5/8</p> <p>10-24 x 5/8</p> <p>7264-B</p> <p>78051-222CDS</p>	<p>78051-222CG*</p> <p>2-56 x 5/8</p> <p>7264-B</p> <p>10-24 x 1</p> <p>78051-222CG</p>
<p>78051-222D*</p> <p>10-24 x 1 1/4</p> <p>78051-222D</p> <p>78051-225</p>	<p>78051-222DD*</p> <p>10-24 x 1 1/4</p> <p>78051-222DD</p> <p>M4 x 6</p>	<p>78051-222DG*</p> <p>10-24 x 1 1/2</p> <p>78051-222DG</p> <p>M4 X 8MM</p>



Hybrid III 50th Male Head Mounts (Con't)

VESTA

<p>78051-222FD*</p> <p>10-24 x 1 1/2</p> <p>10-24 x 1/2</p> <p>78051-222FD</p> <p>78051-225</p>	<p>78051-222GD*</p> <p>10-24 x 1/2</p> <p>78051-222GD</p> <p>4-40 x 1/4</p>	<p>78051-222ID*</p> <p>10-24 x 1 1/4</p> <p>78051-222ID</p> <p>M5 x 8</p>
<p>78051-222JD*</p> <p>2-56 x 5/8</p> <p>7264-C</p> <p>10-24 x 5/8</p> <p>78051-222JD</p>	<p>78051-222MD-ASSY</p> <p>4-40 x 5/8</p> <p>7264-F</p> <p>10-24 x 5/8</p> <p>78051-222MD</p>	<p>Angular Accel</p> <p>1778</p> <p>10-24 x 1/2</p> <p>4-40 x 1/4</p> <p>1780</p>



Hybrid III 50th Male Thorax Mounts

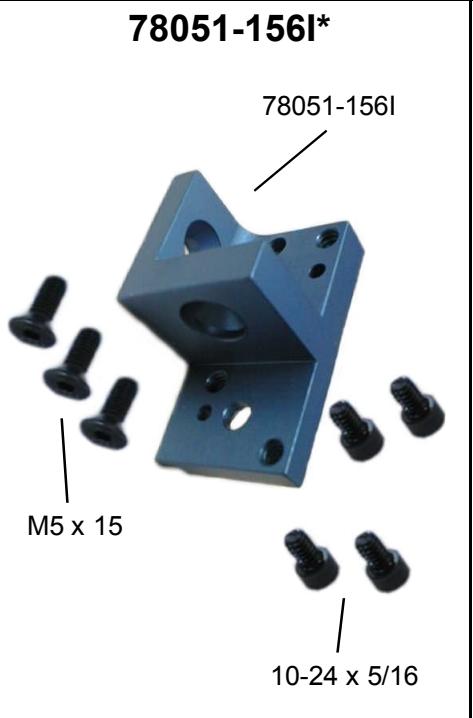
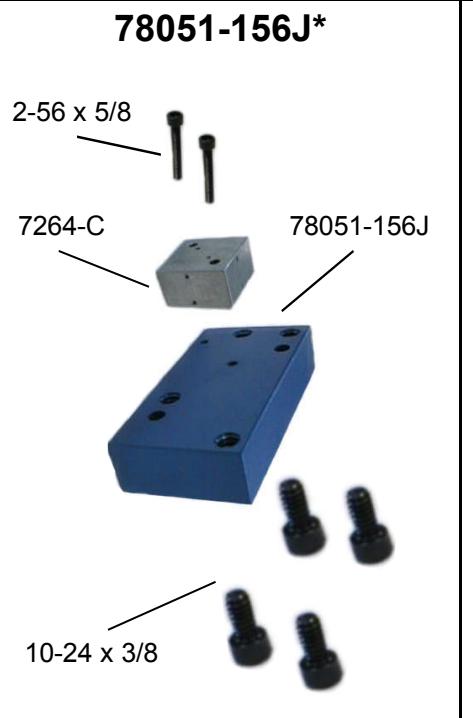
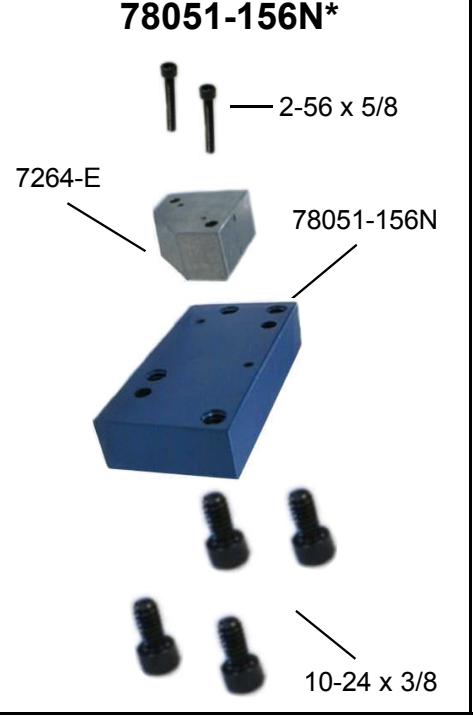
VESTA

<p>78051-156*</p> <p>78051-156</p> <p>78051-225</p> <p>10-24 x 5/16</p>	<p>78051-156A*</p> <p>2-56 x 5/8</p> <p>7264-A</p> <p>78051-156A</p> <p>10-24 x 1/2</p>	<p>78051-156B*</p> <p>4-40 x 1/4</p> <p>78051-156B</p> <p>10-24 x 3/8</p>
<p>78051-156C*</p> <p>2-56 x 5/8</p> <p>7264-B</p> <p>78051-156C</p> <p>10-24 x 1/2</p>	<p>78051-156D*</p> <p>78051-156D</p> <p>M4 x 15</p> <p>10-24 x 5/16</p>	<p>78051-156G*</p> <p>4-40 x 1/4</p> <p>78051-156G</p> <p>10-24 x 3/8</p>



Hybrid III 50th Male Thorax Mounts (Con't)

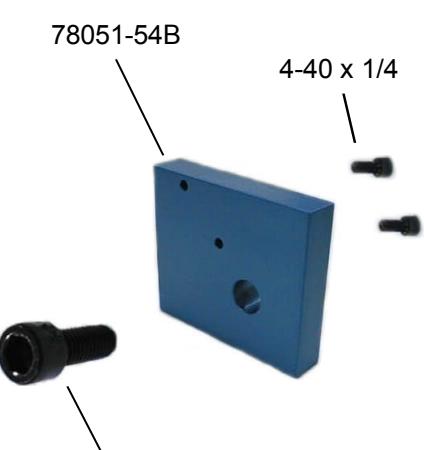
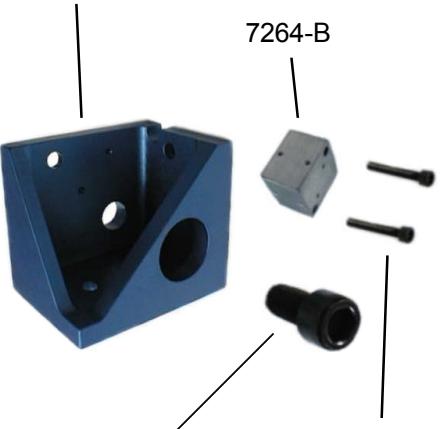
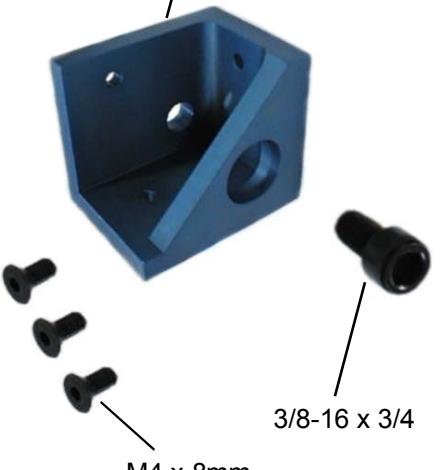
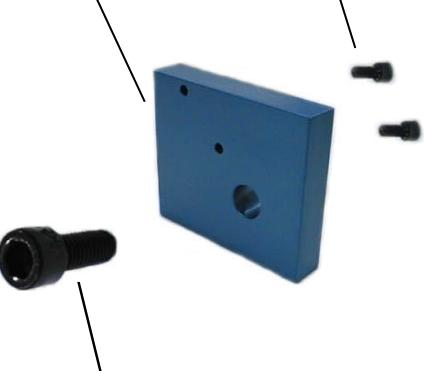
VESTA

78051-156I*  <p>78051-156I M5 x 15 10-24 x 5/16</p>	78051-156J*  <p>2-56 x 5/8 7264-C 78051-156J 10-24 x 3/8</p>	78051-156M-assy  <p>4-40 x 5/8 7264-F 78051-156M 10-24 x 1/2</p>
78051-156N*  <p>2-56 x 5/8 7264-E 78051-156N 10-24 x 3/8</p>		



Hybrid III 50th Male Pelvic Mounts

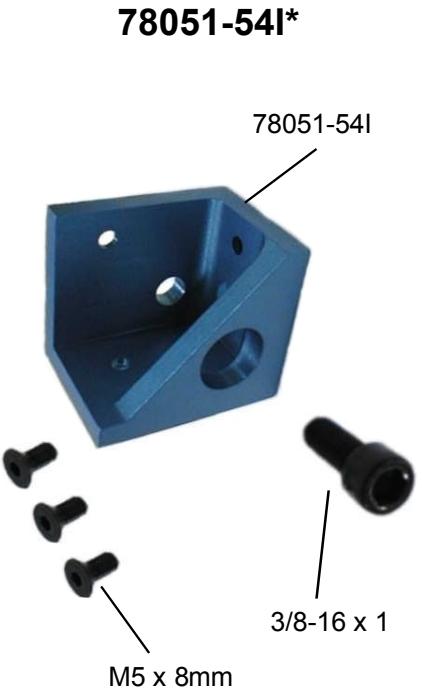
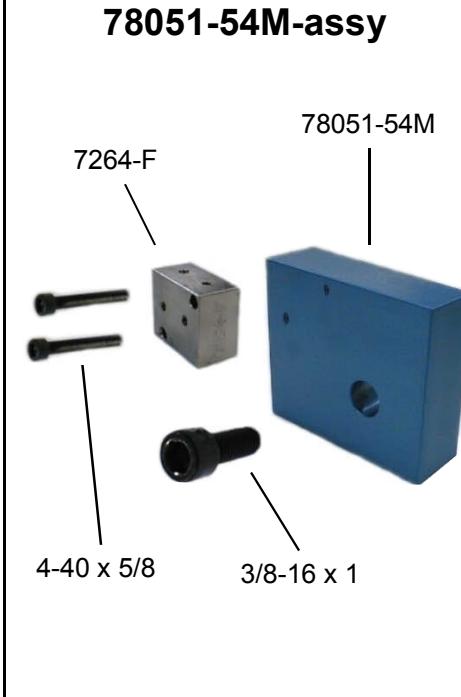
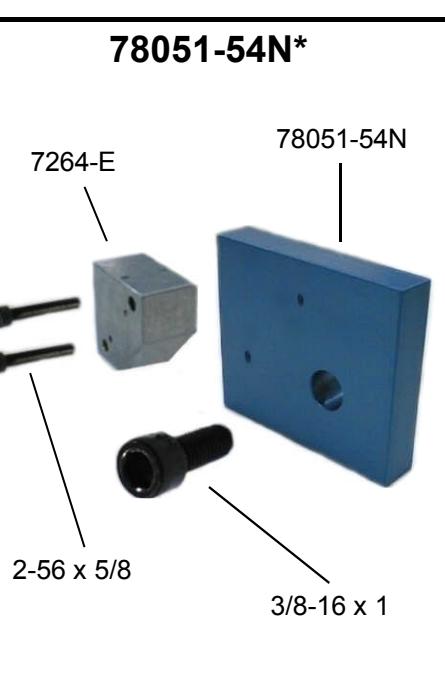
VESTA

<p>78051-54*</p>  <p>78051-54</p> <p>78051-226</p> <p>3/8-16 x 3/4</p>	<p>78051-54A*</p>  <p>78051-54C</p> <p>7264-A</p> <p>2-56 x 5/8</p> <p>3/8-16 x 3/4</p>	<p>78051-54B*</p>  <p>78051-54B</p> <p>4-40 x 1/4</p> <p>3/8-16 x 3/4</p>
<p>78051-54C*</p>  <p>78051-54C</p> <p>7264-B</p> <p>3/8-16 x 3/4</p>	<p>78051-54D*</p>  <p>78051-54D</p> <p>M4 x 8mm</p> <p>3/8-16 x 3/4</p>	<p>78051-54G*</p>  <p>78051-54G</p> <p>4-40 x 1/4</p> <p>3/8-16 x 1</p>



Hybrid III 50th Male Pelvic Mounts (Con't)

VESTA

78051-54I*  <p>78051-54I 3/8-16 x 1 M5 x 8mm</p>	78051-54J*  <p>78051-54J 7264-C 2-56 x 5/8 3/8-16 x 1</p>	78051-54M-assy  <p>78051-54M 7264-F 4-40 x 5/8 3/8-16 x 1</p>
78051-54N*  <p>78051-54N 7264-E 2-56 x 5/8 3/8-16 x 1</p>		