

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação - Mestrado em Engenharia Mecânica

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE BANCOS
DIANTEIROS DE AUTOMÓVEIS DE PASSAGEIROS.**

Cilo José Lana

Belo Horizonte
Junho/2009

Cilo José Lana

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE BANCOS
DIANTEIROS DE AUTOMÓVEIS DE PASSAGEIROS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr.-Ing Ernani Sales Palma

Belo Horizonte
Junho/2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

L243a Lana, Cilo José
Avaliação estrutural de bancos dianteiros de automóveis de passageiros / Cilo José Lana. Belo Horizonte, 2009.
96f. : il.

Orientador: Ernani Sales Palma
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

1. Automóveis – Bancos dianteiros. 2. Metais - Deformação.
3. Automóveis – Cinto de segurança. I. Palma, Ernani Sales. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

CDU: 629.067

Cilo José Lana

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE BANCOS
DIANTEIROS DE AUTOMÓVEIS DE PASSAGEIROS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Prof. Dr.-Ing Ernani Sales Palma (Orientador) – PUC Minas

Prof. Dr. Israel Jorge Cárdenas Nuñez – PUC Minas

Prof. Dr. Carlos Alberto Cimini Jr.- DEMEC - UFMG

Belo Horizonte, 29 de Junho de 2009

A Deus

Pois é ele quem
guia e ilumina minha existência.

Dedico aos meus pais, José Dias e Juvercina;
a minha esposa Marília e as minhas filhas Gabriela e Paula,
por sempre estarem realmente juntos a mim;
com compreensão e carinho.

Agradecimentos

Ao professor Ernani Sales Palma pela confiança, amizade, dedicação e a orientação sempre precisa, neste e outros trabalhos.

Agradeço a PUC Minas pela oportunidade e disponibilização dos laboratórios de pesquisa para a realização deste trabalho.

Aos professores da PUC Minas pela contínua prontidão em ajudar.

Aos funcionários que sempre dão o suporte necessário, em especial a Sra. Valéria pela colaboração e presteza.

Resumo

Um dos sistemas de segurança passiva em um veículo automotivo é o banco. A estrutura do banco tem evoluído nos últimos anos para atender vários requisitos de adição de acessórios e absorção de energia nas solicitações impostas por uma eventual colisão do veículo. Nas situações de colisão traseira no veículo, os estudos mostram que a função do banco é a retenção do usuário de maneira a reduzir o índice de lesões no pescoço. Neste estudo foram realizados ensaios estáticos experimentais comparativos entre estruturas de diferentes gerações de bancos de automóveis de passageiros (categoria M1). Os ensaios experimentais realizados foram: cedimento do encosto, cedimento simultâneo do encosto e apoio de cabeça e ancoragem do ponto de fixação do cinto de segurança. Assim, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar o comportamento estrutural de banco dianteiro de transporte de passageiros, nas solicitações de carregamento do ponto de ancoragem do cinto de segurança e nas solicitações impostas na estrutura do encosto e apoio de cabeça. Através das análises das forças e deformações atuantes na estrutura do encosto, do ponto de ancoragem do fecho do cinto de segurança e da deformação do encosto e apoio de cabeça de diferentes estruturas de bancos foram estabelecidos parâmetros para futuros projetos.

Palavras-chave: banco automotivo, deformação da estrutura do banco, absorção de energia.

Abstract

The seat is one of passive safety systems in automotive vehicles. The structure of the seat has been developing in the last years to achieve requirements of energy absorption during an eventual collision of the vehicle. In the situations of rear crash of the vehicle, studies show that the function of the seat is to hold and, thus to, protect the occupant against lesions in the neck. In this paper several structures of different generations of seats of passenger vehicle (M1 category) were statically tested. The following experimental tests were performed: deformation of the back rest, simultaneous deformation of the back rest and head rest, and anchorage of the fixation point of the seatbelt buckle. Thus, the goal of this work consists of evaluating structural behavior of front seats of passenger vehicles. As a result of this study, loads and strains of seat structures may be used as standard parameters for future projects.

Keywords: automotive seat, deformation of the structure of the seat, absorption of energy.

LISTA DE SIGLAS

ABERGO – Associação Brasileira de Ergonomia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CE – Comunidade Européia

ECE – Economic Commission for Europe

Euro NCAP – European New Car Assessment Program of Vehicle Crash Testing

FMVSS – Federal Motor Vehicle Safety Standard

US NCAP – United States New Car Assessment Program of Vehicle Crash Testing

WHIPS – Whiplash Protection Study

SAE International – The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ponto H (SAE J287, Jun-1988).....	20
Figura 2.2 - Ponto R (SAE J287, Jun-1988).....	21
Figura 2.3 - Sistema de coordenadas do Veículo (SAE J1100; 1998).....	21
Figura 2.4 – BioRID-IIC Rear Impact Crash Test Dummy (KELLY, 2002)	30
Figura 2.5 – Modelo dinâmico de elementos finitos do corpo humano.....	31
Figura 2.6 – Estrutura esquelética: espinha, pélvis, pernas e músculos das costas.....	31
Figura 2.7 – Distribuição de pressão sobre as espumas do assento do banco.....	31
Figura 2.8 – A movimentação do banco no sistema WHIPS (Jakobsson et al.; 1999).....	33
Figura 2.9 – Esquema da movimentação do mecanismo de inclinação do banco WHIPS (Jakobsson et al.; 1999).	33
Figura 2.10 – Vértebras cervicais (Orthopod; 2009).....	34
Figura 2.11 – Osso occipital (UPSTATE MEDICAL UNIVERSITY; 2008).....	35
Figura 2.12 – Sistema anti-sliding bag (AUTOLIV Anti-sliding bag, 2002).....	36
Figura 2.13 – Sistema Protec plus anti-whiplash system (LEAR Safety, 2009)	36
Figura 2.14 – Sistema Comfort Cools (JOHNSON CONTROLS Comfort cools, 2009).....	37
Figura 2.15 – Sistema Comfort Renews (JOHNSON CONTROLS Renews, 2009).....	37
Figura 2.16 – Distribuição dos acidentes fatais e com lesões nos ocupantes de acordo com o tipo de impacto (Watanabe et al., 2000)	38
Figura 2.17 – Regiões geométricas para o manequim 50% percentil masculino, usado para dimensões relativas ao apoio de cabeça (O’NEILL, 1999).....	40
Figura 2.18 – Manequim SAE, com cabeça para mensurar as distâncias verticais e horizontais relativas ao apoio de cabeça. (O’NEILL, 2000)	41
Figura 2.19 – Estrutura do banco Projeto 1995	43
Figura 2.20 – Estrutura do banco Projeto 2004	43
Figura 3.1 – Fluxograma dos ensaios realizados.	45
Figura 3.2 – Banco com a Estrutura ED1- Fixado à bancada de teste para ensaio de ancoragem.....	47
Figura 3.3 – Ângulos de atuação de força na estrutura - ensaio de ancoragem.....	48
Figura 3.4 – Ângulos de atuação de força na estrutura - ensaio de ancoragem.....	48
Figura 3.5 – Fluxograma da preparação do ensaio de ancoragem.....	49
Figura 3.6 – Fluxograma da execução do ensaio de ancoragem	49
Figura 3.7 – Ângulos de atuação de força na estrutura – ensaio de cedimento do encosto	50
Figura 3.8 – Ângulos de atuação de força na estrutura – ensaio de cedimento do encosto	51
Figura 3.9 – Fluxograma da preparação do ensaio de cedimento do encosto.....	51
Figura 3.10 – Fluxograma da execução do ensaio de cedimento do encosto	52
Figura 3.11 – Estrutura EDC1 - Posicionamento do cilindro do atuador hidráulico na travessa superior do encosto	52
Figura 3.12 – Base de fixação das estruturas do banco - Ensaio estáticos	53
Figura 3.13 – Base de fixação da estrutura do banco - Ensaio estático	53
Figura 3.14 – Dispositivo para ensaio do apoio de cabeça - Ensaio estático.....	54
Figura 3.15 – Fluxograma da execução do ensaio final de ancoragem	56
Figura 3.16 – Fluxograma da execução do ensaio final de cedimento do encosto	58
Figura 3.17 – Base de fixação da estrutura do banco - Ensaio estático	59
Figura 3.18 – Manequim SAE J826 e Cavalete do dispositivo de fixação do busto SAE e semi-esfera.....	59
Figura 3.19 – Esquema do dispositivo com semi-esfera e busto instalados	60
Figura 3.20 – Olhal de fixação da haste do atuador hidráulico - Dispositivo semi-esfera	61
Figura 3.21 – Detalhe do ponto de fixação do dispositivo da haste do atuador hidráulico	61
Figura 3.22 – Fluxograma da Preparação para o Ensaio de Cedimento Simultâneo do Encosto e Apoio de cabeça	62
Figura 3.23 – Fluxograma da execução para o Ensaio de Cedimento Simultâneo do Encosto e Apoio de cabeça.....	63
Figura 4.1 – Deslocamentos residuais – ensaio de ancoragem.....	64
Figura 4.2 – Deslocamentos residuais – ensaio de ancoragem.....	65
Figura 4.3 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de ancoragem no ponto de fixação do fecho de cinto de segurança na estrutura do banco	66
Figura 4.4 – Banco estrutura ED1 – Antes do ensaio de ancoragem do fecho do cinto	67
Figura 4.5 – Banco estrutura ED1 - Após o ensaio de ancoragem do fecho do cinto.....	67
Figura 4.6 – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC1- Imagem da estrutura após o ensaio	68
Figura 4.7 – Força X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC1.....	68
Figura 4.8 – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC2- Imagem da estrutura após o ensaio	69

Figura 4.9 – Força X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC2.....	69
Figura 4.10 – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC3- Imagem da estrutura após o ensaio ...	70
Figura 4.11 – Força X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC3.....	70
Figura 4.12 – Deslocamentos residuais – ensaio de cedimento da estrutura do encosto	71
Figura 4.13 – Força de colapso – ensaio de cedimento da estrutura do encosto	72
Figura 4.14 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX1-850 daN.	73
Figura 4.15 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX1-1750 daN.	74
Figura 4.16 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura EDX1.....	74
Figura 4.17 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX2-850 daN.	75
Figura 4.18 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX2-1750 daN.	75
Figura 4.19 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura EDX2.....	76
Figura 4.20 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX3-850 daN.	76
Figura 4.21 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX3-1750 daN.	77
Figura 4.22 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura EDX3.....	77
Figura 4.23 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura EDX1.....	79
Figura 4.24 – Colapso – Ensaio de cedimento da estrutura amostras EDX1.....	80
Figura 4.25 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura EDX2.....	80
Figura 4.26 – Colapso – Ensaio de cedimento da estrutura amostras EDX2.....	81
Figura 4.27 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura EDX3.....	81
Figura 4.28 – Colapso – Ensaio de cedimento da estrutura EDX3.....	82
Figura 4.29 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo EDX1 – amostra 1.	84
Figura 4.30 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo EDX1 – amostra 2.	84
Figura 4.31 – Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo banco EDX1.....	85
Figura 4.32 – Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo banco EDX2.....	85
Figura 4.33 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo EDX3 – amostra 1.	86
Figura 4.34 – Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo banco EDX3.....	86
Figura 4.35 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo EDX4 – amostra 1.	87

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 – Deformações residuais médias – Ensaios preliminares de ancoragem das estruturas.....	78
TABELA 4.2 – Deformações residuais para cargas de 100 daN.....	82
TABELA 4.3 – Deformações residuais médias – Ensaios de ancoragem das estruturas.....	88
TABELA 4.4 – Deformações residuais médias – Ensaios de cedimento das estruturas e força de colapso.....	89
TABELA 4.5 – Deformações médias – Ensaios de cedimento simultâneo.....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Características das estruturas – Ensaios preliminares de ancoragem	47
Quadro 3.2 – Características das estruturas – Ensaios preliminares de cedimento.	50
Quadro 3.3 – Características das estruturas – Ensaios finais de ancoragem	55
Quadro 3.4 – Especificações dos materiais das estruturas – Ensaios finais de ancoragem	55
Quadro 3.5 – Especificações dos materiais das estruturas – Ensaios finais de cedimento	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa.....	16
1.2 Objetivo geral do trabalho	16
1.3 Objetivos específicos.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Ergonomia	18
2.2 Antropometria da população	18
2.3 Sistema dimensional e estrutural do veículo.	21
2.4 Bancos	23
2.4.1 <i>Função e composição dos bancos</i>	23
2.4.2 <i>Problemas relativos aos bancos</i>	25
2.4.3 <i>Ensaio relativos a bancos</i>	26
2.5 Estudos existentes no mundo sobre bancos.....	29
2.6 Evoluções dos materiais utilizados na construção dos bancos.....	41
3 METODOLOGIA.....	45
3.1 Ensaio preliminares.....	46
3.1.1 <i>Ensaio de ancoragem do ponto de fixação do cinto de segurança</i>	46
3.1.2 <i>Ensaio de cedimento da estrutura do encosto</i>	49
3.2 ENSAIOS FINAIS	53
3.2.1 <i>Ensaio de ancoragem do ponto de fixação do cinto de segurança</i>	54
3.2.2 <i>Ensaio de cedimento da estrutura do encosto</i>	56
3.2.3 <i>Ensaio de cedimento simultâneo do encosto completo e do apoio de cabeça</i>	58
4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS	64
4.1 Resultados experimentais preliminares	64
4.1.1 <i>Ancoragem do ponto de fixação do cinto de segurança</i>	64
4.1.2 <i>Cedimento da estrutura do encosto</i>	68
4.2 Resultados experimentais finais	73
4.2.1 <i>Ancoragem do ponto de fixação do cinto de segurança</i>	73
4.2.2 <i>Cedimento da estrutura do encosto</i>	79
4.2.3 <i>Ensaio de cedimento simultâneo do encosto e apoio de cabeça.</i>	83
4.3 Análise final dos resultados.....	88
5 CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS	93
ANEXOS	97
Anexo 1 - Especificações dos materiais dos projetos de 1995 e 2004.	97

1 INTRODUÇÃO

Com as exigências do mercado global, os regulamentos legislativos de trânsito e a grande competitividade imposta pelo grande número de fabricantes de veículos tornam-se necessário realizar pesquisas e estudos para a redução de peso nos veículos, sem afetar o seu desempenho. Além do desempenho de potência de motorização, consumo e capacidade de carga, o desempenho na segurança ativa e passiva tem uma importante função. Os bancos em um veículo são fatores importantes no desempenho de segurança passiva e no conforto. Segundo Kolich (2003), a tecnologia mudou os automóveis durante os anos. Como resultado, as expectativas do consumidor em termos de desempenho subiram. O conforto é um atributo que os consumidores exigem e o banco tem um papel importante para a consecução desta expectativa. Quanto à segurança passiva, vários itens vêm sendo adicionados aos bancos para oferecer mais segurança, entre os quais o *air bag* lateral e o apoio de cabeça ativo.

Além disto, o projeto de um banco deve se inserir no contexto da necessidade de redução de peso. No entanto, para poder reduzir o peso do banco faz-se necessário entender as necessidades mínimas quanto à segurança e conforto.

Afirma Viano (2002 p.xv) como o trabalho de desenvolvimento, conduzido a um produto de classe mundial em termos de desempenho nas colisões, peso e custo, a General Motors cria uma força tarefa para desenvolver novas especificações para todos os seus bancos dianteiros.

Além do conforto e as solicitações de resistência que o banco deve atender, deve-se utilizar estrutura que tenha equilíbrio entre a deformação e a rigidez. Vários fabricantes na busca do desafio de obter estruturas leves para reduzir peso e com bom desempenho mecânico, tem investido em pesquisas procurando a aplicação de materiais com menor peso específico, novas formas na estrutura, em espumas com menores espessuras e até aplicação de um percentual maior de polímeros em componentes que até então eram fabricados usando-se aço e outras ligas metálicas não ferrosas.

Nota:

(VIANO, 2002, p.xv) As the seat development work led to a world-class product in terms of crash performance, weight, and cost, General Motors formed a task force to develop new seat specifications for all of its front seats.

Vale ressaltar que o equilíbrio nos custos e benefícios é extremamente importante, pois somente assim é possível o sucesso do projeto. Também neste ponto é de grande importância analisar os objetivos do fabricante, entre os quais está a redução dos custos de desenvolvimento. Isto significa que um dos objetivos poderá ser a padronização e a aplicação de um único projeto atendendo mercados diversos, seja no âmbito antropométrico, ou no âmbito dos requisitos legislativos de trânsito quanto ao desempenho esperado. Afirma Viano, (2002, p.xii), que no desenvolvimento de uma futura geração de bancos de baixo peso e custo, o foco estratégico serão os componentes. O objetivo com componentes será alcançar dimensões flexíveis nos bancos, permitindo o ajuste em diferentes instalações de uma gama de veículos e buscando sempre a padronização dos componentes.

Assim, conclui-se que os projetos devem estar alinhados aos objetivos de redução de peso, padronização, redução de custo e investimentos. Não obstante, deve-se também pensar na responsabilidade ecológica, eliminando os materiais que podem causar impactos ambientais negativos.

1.1 Justificativa

Nos novos desenvolvimentos de bancos para automóveis observa-se na fase inicial de testes para validação do projeto níveis elevados de deslocamentos que podem comprometer o desempenho da estrutura do banco. Assim, torna-se necessária a revisão das metodologias usadas com conseqüentes atrasos e elevação de custos no desenvolvimento. Conseqüentemente, as empresas do setor automotivo têm realizado pesquisas aplicadas no sentido de reduzir o ciclo do desenvolvimento. Este trabalho insere-se neste contexto, de forma a avaliar os parâmetros que têm influência nestes resultados e como utilizá-los na fase de desenvolvimento, de forma a reduzir o custo do desenvolvimento de novos projetos de bancos.

1.2 Objetivo geral do trabalho

Este estudo visa possibilitar a redução dos prazos de desenvolvimento de bancos de automóveis. O comportamento estrutural de bancos dianteiros de transporte de passageiros de automóveis (categoria M1) será avaliado por meio de ensaios experimentais estáticos.

1.3 Objetivos específicos

O comportamento mecânico de diferentes bancos será estudado através das análises dos deslocamentos na estrutura do encosto, do ponto de ancoragem do fecho do cinto de segurança e do deslocamento do encosto e apoio de cabeça. Pretende-se definir com os resultados obtidos parâmetros para futuros projetos.

Assim, após a realização deste trabalho, os futuros projetos e ensaios de qualificação de bancos de automóveis deverão ter valores limites de deslocamento para a estrutura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ergonomia

No projeto de bancos é fundamental que o ocupante tenha conforto e segurança, seja nas exposições de uso por curtos ou longos períodos. Por isso a ergonomia tem forte presença neste produto. Sendo utilizada não somente na condição de conforto, mas também no projeto dimensional da estrutura para atingir o desempenho planejado.

O termo ergonomia vem da junção das palavras gregas *ergo* que significa trabalho e *nomos*, significando normas, regras ou leis. O surgimento da ergonomia veio para adaptar as tarefas e máquinas ao ser humano. De uma forma mais ampla, a ergonomia pode ser conceituada como uma ciência interdisciplinar, onde a antropometria, a biomecânica, os processos cognitivos, a percepção visual e outros fatores humanos são a base principal para que os elementos de um sistema sejam desenvolvidos de forma a proporcionar conforto e segurança ao ser humano.

A associação internacional de ergonomia adotou a seguinte definição: A Ergonomia (ou Fatores Humanos) é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ERGONOMIA, 2000).

Pode-se concluir que ergonomia, não relaciona somente a interface do homem-máquina e homem-posto de trabalho. A ergonomia esta relacionada a tudo aquilo que faz interface com o ser humano, influenciando no seu desempenho, no seu conforto e na sua segurança. Desta forma, para se ter um projeto ergonômico adequado, é fundamental um conhecimento das características do corpo humano.

2.2 Antropometria da população

A antropometria é um braço da ergonomia que estuda as dimensões e pesos do corpo humano, assim como as suas alterações no decorrer dos anos.

A população masculina apresenta algumas diferenças com relação à população feminina. Nos homens a proporção muscular é maior que nas mulheres. As mulheres já possuem uma proporção maior de tecido adiposo que os homens.

Na fase adulta os homens apresentam os ombros mais largos, o tórax maior, com clavículas mais longas e escápulas mais largas, com as bacias relativamente estreitas. As cabeças são maiores, os braços mais longos e os pés e mãos são maiores. As mulheres têm ombros relativamente estreitos e tórax menores e mais arredondados, com as bacias mais largas. As diferenças de estaturas entre homens e mulheres são de 6 a 11% (IIDA, 2005,p.98 e 99).

A variação antropométrica da população adulta deve-se a diversos fatores. Nas variações intra-individuais nos adultos, as dimensões lineares começam a decair a partir dos 55 a 60 anos e o peso pode aumentar (IIDA, 2005, p.100). E outros fatores que influenciam nestas variações são: o processo migratório, as diferenças de etnia, a genética, clima e alimentação.

Na antropometria um termo muito utilizado para identificar as dimensões e peso de um manequim é o percentil. O percentil é uma distribuição de frequências que dividem a área de distribuição em domínio de área igual a múltiplos inteiros de um centésimo desta área. Com base na estatística antropológica, o percentil é um modo de ordenar uma população sob certo critério. Na indústria automobilística, onde o ocupante do veículo é representado por um conjunto de dimensões antropométricas, um ocupante ou indivíduo do N-ésimo percentil será identificado por dimensões que são apenas superadas por 100-N (cem menos N) por cento da população (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 6068, p.1, 1979).

O Peso na antropometria é definido como a força exercida pelo ser humano na balança em kgf (ABNT – NBR 6068, p.1, 1979). A estatura é a medida vertical da pessoa na posição ortostática (de pé) (ABNT – NBR 6068, p.1, 1979). Assim, o manequim 50% (cinquenta percentil) representa o homem com estatura de 1,735 m para a faixa etária de 18 a 79anos. Isto significa que 50% da população masculina adulta está abaixo desta estatura e também 50% da população masculina adulta está acima desta estatura. A mesma interpretação pode-se fazer para os demais manequins. Por exemplo, o manequim 95% (noventa e cinco percentil), representa o homem com estatura de 1,849 m, que significa que 95% da população

masculina adulta está abaixo desta estatura e somente 5% da população masculina adulta supera esta estatura.

O ponto H é o centro de articulação da linha de centro do tronco com a linha de centro das pernas na posição sentada (FIG. 2.1). Também define-se o ponto H como o centro de giro das pernas com o tronco, utilizando-se um manequim com o posicionamento das pernas na condição de condutor do veículo.

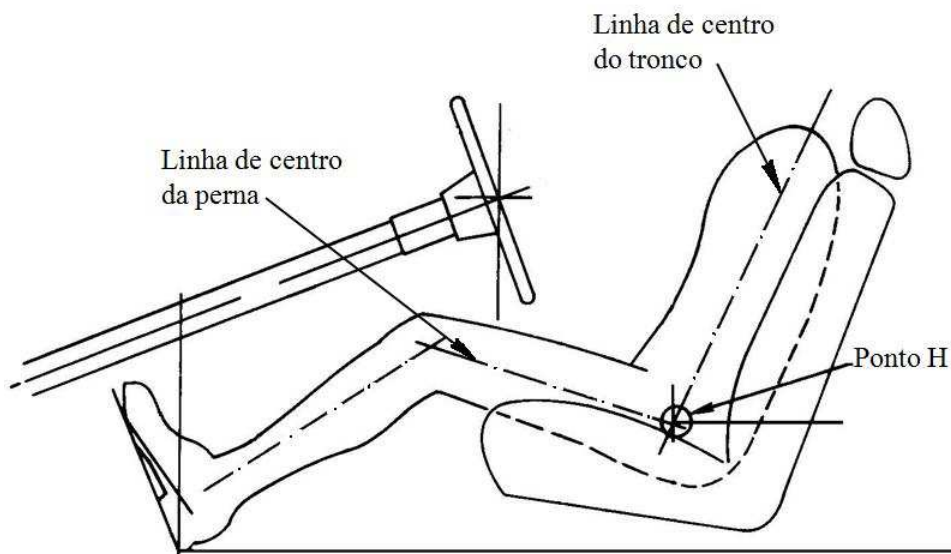


Figura 2.1 - Ponto H (SAE J287, Jun-1988)

O ponto “R” é conhecido como ponto H nominal (FIG. 2.2). Pode-se observar que este é delimitado por uma área onde se localizam diversos pontos H de diversos manequins. Esta área é delimitada em função dos cursos de ajuste longitudinal e vertical do banco.

O ponto H nominal é definido para um manequim tridimensional SAE 95 percentil. O pontos “H” e “R” são referências no desenvolvimento do projeto de um veículo. O posicionamento de diversos componentes e subsistemas no veículo utilizam o ponto H e R como pontos de referência. Por exemplo: os componentes de retrovisão (retrovisores) são posicionados com base de referência no ponto H, os pontos de ancoragem dos cintos de segurança são projetados com base à referência do ponto H de cada passageiro.

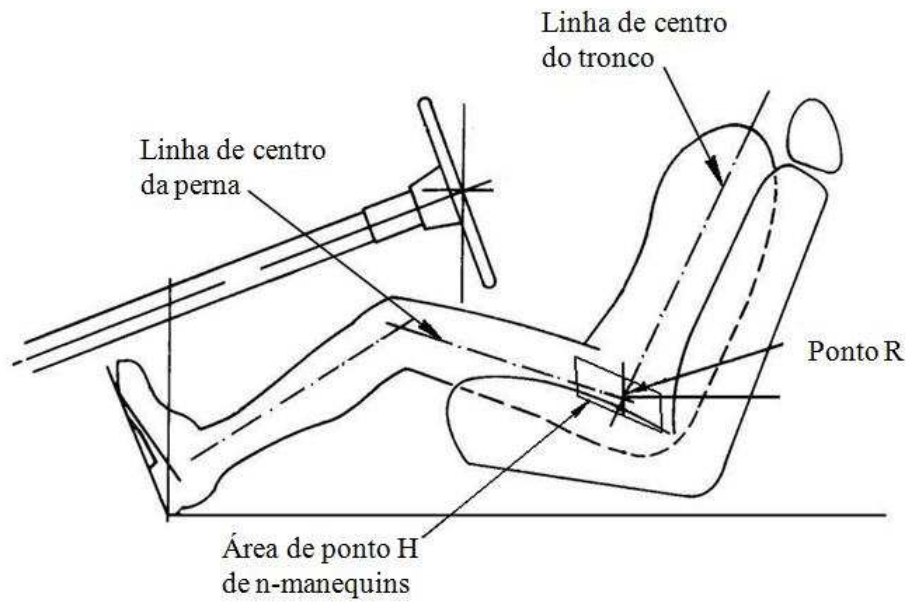


Figura 2.2 - Ponto R (SAE J287, Jun-1988)

2.3 Sistema dimensional e estrutural do veículo.

O sistema dimensional utilizado no veículo é o sistema métrico. A norma SAE J1100 (1998) indica o sentido das coordenadas X, Y e Z no veículo (FIG. 2.3). Esta norma também padroniza as cotas internas e externas do veículo e a nomenclatura para os volumes de capacidade do porta-malas.

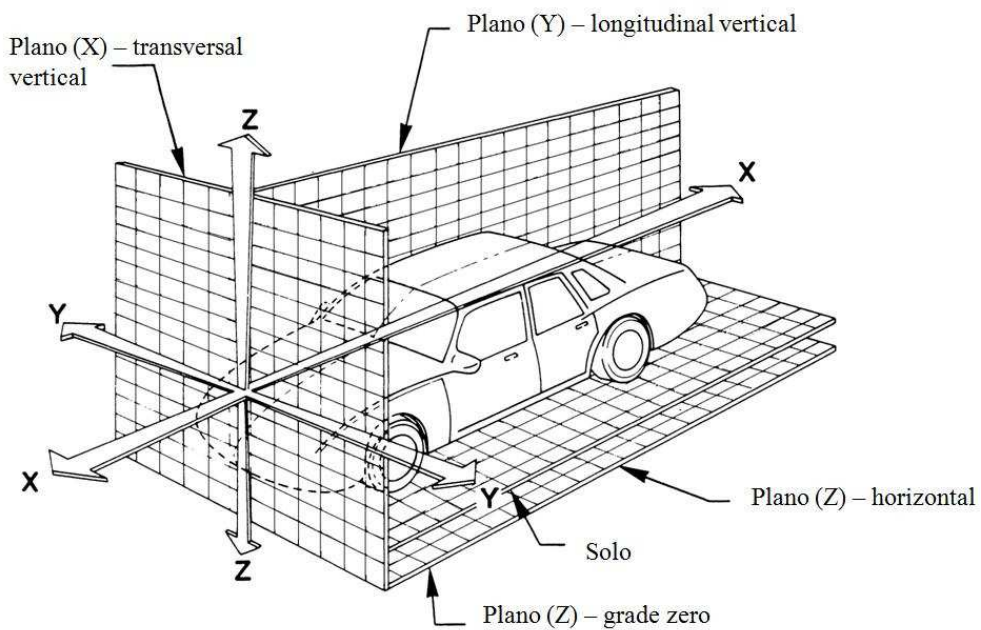


Figura 2.3 - Sistema de coordenadas do Veículo (SAE J1100; 1998)

O decreto Lei nº 72-2000 ANEXO II - Definição das categorias e modelos de veículos, define que os veículos da categoria M1 são aqueles destinados a transporte de passageiros, que não contenham mais de oito (8) assentos além do assento do condutor e que quando carregados não excedam um peso bruto máximo de aproximadamente 35000 N (3.500 kgf). Os veículos desta categoria dividem se basicamente em quatro macros áreas: sistema carroceria, sistema propulsão, sistema chassi e sistema eletro-eletrônico.

O sistema de propulsão é composto basicamente de um motor de combustão interna e uma caixa redutora de velocidade (caixa de câmbio). Interligado ao sistema de propulsão pode estar instalados vários opcionais como sistema de direção hidráulica e sistema de refrigeração interna do veículo (ar condicionado).

O sistema chassi do veículo é composto basicamente do subsistema suspensão que contém barras de torção, amortecedores, eixos e semi-eixos, molas e pneus, subsistema freios e subsistema de escapamento de gases do processo de combustão. Uma das funções do sistema chassi é garantir a estabilidade do veículo nas vias normais de rolamento.

O sistema eletro-eletrônico do veículo é composto por bateria, chicotes, caixa de fusíveis, módulos eletrônicos e sensores. A função do sistema eletro-eletrônico é gerenciar todo o sistema elétrico do veículo, garantindo alimentação, recepção e transmissão de comandos, que podem ser lido por meio de instrumentos como, por exemplo: o quadro de instrumentos e o visor do radio.

O sistema carroceria, por sua vez, se divide em corpo estrutural e em componentes. O sistema estrutural é basicamente composto dos componentes de chapas e tubos de aço conformados por processos mecânicos e unidos por soldagem. A subdivisão componentes divide-se em acabamentos internos e externos. Os acabamentos são basicamente pára-choques, painel de instrumentos, revestimentos, bancos, cintos de segurança e *air bags*. O corpo estrutural carroceria se divide em três macros áreas: espaço para o sistema de propulsão, espaço de bagagem e espaço de habitáculo para acomodação dos usuários. Além disto, a carroceria possui pontos de fixação dos componentes de segurança passiva, ou seja, os bancos e os sistemas de retenção que são os cintos de segurança e *air bags*. Estes pontos de fixação são conhecidos pelas normas técnicas e legislativas como pontos de ancoragem. Os bancos e cintos não podem se destacar das ancoragens da carroceria nas solicitações de fadiga, mau uso ou colisões do veículo.

2.4 Bancos

Como foi dito anteriormente, os bancos fazem parte do sistema carroceria e estes compõem o conjunto acabamento interno e também do pacote segurança passiva, com função de retenção dos usuários.

2.4.1 Função e composição dos bancos

Os bancos podem ter configurações distintas em função do custo, podendo ser dividido em três classes: bancos básicos, bancos luxuosos e extra-luxuosos. Em todos estes a principal função é oferecer segurança passiva e conforto aos usuários, dentro dos limites pré-estabelecidos no projeto e em conformidade com os requisitos legislativos locais.

Segundo Kang et Chun (2000) a segurança é um assunto importante no projeto automotivo no qual a estrutura do banco tem um importante papel. Projetar uma estrutura de banco automotivo requer grande atenção para utilizar as melhores técnicas de projeto com um controle rigoroso dos custos. Não é suficiente que o banco seja somente confortável para os ocupantes, mas também deve protegê-los de uma gama extensiva de situações de impacto. A estrutura do banco no avançado mundo do automóvel tem que ter um projeto simples, de baixo peso para reduzir o consumo de material e reduzir os custos industriais.

Os bancos dianteiros básicos são compostos de seis sub-sistemas. Estes sub-sistemas são a parte estrutural, as espumas, os revestimentos, os componentes plásticos e os componentes de retenção que são: o fecho do cinto de segurança e o *side air bag*. O sexto sub-sistema é o apoio-de-cabeça, que é um importante componente que compõe parte da segurança passiva. Fazem também parte dos bancos dianteiros básicos, os sistemas de ajustes de deslocamento longitudinal do conjunto (que se realiza principalmente pelo uso de trilhos que são ancorados no assoalho do veículo) e o sistema de ajuste de inclinação do encosto (que na grande maioria dos casos é realizado através de um mecanismo chamado de reclinador).

A categoria de bancos luxuosos diferencia-se pela adição de opcionais, entre os quais podem ser citados o regulador de altura do banco, o sub-sistema de ajuste lombar, o apoio de braço e o *side air bag*.

Nos bancos dianteiros extra-luxuosos aparecem os ajustes de altura, mecanismo de inclinação de encosto e regulagem lombar por sistema eletro-eletrônico. O sistema de aquecimento também faz parte dos opcionais para mercados onde o inverno é bastante

rigoroso. Dentro desta categoria de bancos extra-luxuosos estão disponíveis em alguns modelos os seguintes sistemas, de refrigeração para melhorar o conforto térmico, sistema de massagem para promover a circulação sanguínea nas regiões lombares e do assento. Este último sistema contribui bastante no nível de conforto para usuários em viagens de longo percurso.

As estruturas dos assentos de grande parte dos bancos disponíveis no mercado são projetadas de forma a garantir a redução do escorregamento do usuário no assento nas solicitações de colisão ou freada brusca.

Existem três situações nos sistemas de retenção dos tradicionais cintos de segurança com três pontas: uma única ancoragem sobre a estrutura do banco, duas ancoragens do cinto sobre o banco e o cinto totalmente integrado ao banco. Uma única ancoragem do cinto na estrutura do banco é o mais comum. Este ponto é a ancoragem do fecho do cinto. Duas ancoragens na estrutura do banco melhoram o índice de retenção do usuário. Estes dois pontos são o fecho do cinto que normalmente se localiza na lateral da estrutura do assento lado comando câmbio do veículo e o outro ponto também na lateral do assento, voltado para o lado da porta. Nesta configuração o sistema de retenção melhora, podendo assim reduzir o deslocamento de bacia do usuário. O cinto totalmente integrado à estrutura do banco é a melhor situação para garantir a retenção do usuário, pois independentemente da posição longitudinal do banco ou da inclinação do encosto, a condição de abraçamento do cinto no usuário é a mesma. O oposto ocorre quando o cinto é ancorado na coluna central e na longarina lateral da carroceria. A condição de abraçamento varia em função dos ajustes realizados no banco.

Os *air bags* laterais e os sensores de presença de passageiros também compõem os sistemas de retenção do usuário. Este último, normalmente aplicado sobre os bancos dianteiros dos passageiros, tem a função de interagir com o *air bag* frontal evitando o disparo do mesmo nas situações de colisão quando da ausência de passageiros. Em alguns modelos de veículos, a função dos sensores é também interagir com o peso dos ocupantes, alterando a velocidade de enchimento da bolsa do *air bag*. Para este exemplo, os sensores podem estar localizados no assento, entre o revestimento e a espuma ou em células nos trilhos de escorrimto dos bancos.

As espumas dos bancos são constituídas de um composto químico de isocianato e polioliol formando espuma de poliuretano. Alguns modelos já utilizam também fibras vegetais para redução do uso das espumas, por estas serem de difícil reciclagem. Os revestimentos dos bancos podem ser de tecidos, laminados plásticos e couro. Nos componentes plásticos de acabamento externo, evita-se o uso do polímero ABS, por ser um material que com impactos de colisões pode-se quebrar e deixar superfícies e pontas cortantes.

Os materiais empregados na estrutura dos bancos são as chapas e tubos de aço, arames, molas, componentes de ligas de alumínio, tubos de alumínio e ligas de magnésio.

2.4.2 Problemas relativos aos bancos

O sistema banco automotivo apresenta alguns tipos de falhas que em alguns casos não permitem a reparação em oficinas e devem ser substituídos. Por exemplo, o sistema de deslizamento longitudinal do banco poderá ficar bloqueado por mau uso, ou falha do próprio componente e neste caso deve ser substituído. Também o sistema de inclinação de encosto poderá perder a capacidade de posicionamento por quebra do sistema de engrenamento ou bloqueio do mesmo.

No entanto, o banco não lidera a lista dos componentes que mais falham em um veículo automotivo. Heyes (1998) cita que o componente que lidera a estatística é o motor com 41% e depois os sub-sistemas e componentes que completam o sistema de propulsão e o sistema suspensão com 26% e 13% respectivamente. E as distribuições das causas são: fabricação e projeto, idade, mau uso, falhas de reparação e outros.

Falhas do fecho do cinto de segurança geralmente são imputadas aos bancos pelos ocupantes por este estar fixado ao banco. Henshaw et al. (1999) cita que nos estudos realizados nas falhas dos fechos dos cintos de segurança automotivo, causadas pela degradação do polímero, ocorre por este ser suscetível à degradação ambiental, no caso o polímero ABS. E isto se deve a vários fatores, os quais: a frequência dos impactos no uso dos componentes, o ambiente hostil que incluiu temperaturas até 75°C, a radiação ultravioleta, oxigênio, alinhado aos desenhos dos componentes do conjunto fecho, permitindo que fragmentos do botão de liberação interferisse com a função do mecanismo de liberação.

Pode-se dividir os problemas relativos aos bancos em três categorias. Os problemas estéticos, funcionais e estruturais. Os problemas estéticos, como o próprio nome indica, são

aqueles de percepção visual. Os principais problemas deste tipo são rugas e amassamento do tecido, desgaste prematuro do revestimento, alterações da coloração, plásticos riscados, danificados e colorações alteradas, costuras desalinhadas, pontos da costura abertos e outros.

Os principais problemas funcionais são as cargas elevadas de desbloqueio do sistema de deslizamento dos trilhos longitudinais, as cargas elevadas de inclinação do encosto dos bancos, as cargas elevadas de elevação e abaixamento do apoio de cabeça e as cargas elevadas de acionamento do apoio de braço.

Os problemas estruturais estão relacionados às falhas de projeto ou de manufatura. Dentre os problemas estruturais podem-se citar as deformações e rupturas das estruturas por solicitações de fadiga. A fadiga pode ser causada por desgaste dos estampos de conformação, que podem provocar pontos de concentração de tensão nas estruturas e as conseqüentes deformações e rupturas. Este tipo de problema pode ter origem na fabricação, na manutenção dos estampos ou mesmo devido à sua vida útil destes estar já comprometida. Outros problemas que ocorrem nas estruturas são inerentes aos projetos e são detectados na fase de desenvolvimento, e podem ser encontrados no cálculo, na simulação virtual e também nos ensaios físicos. Os problemas comuns na fase de desenvolvimento são as deformações nos pontos de ancoragem dos cintos com deformação elevada, ruptura das estruturas laterais dos encostos nos casos de simulação de colisão traseira e deformação dos tubos de encaixe das hastes do apoio de cabeça ou da travessa superior do encosto nos testes de dissipação de energia no apoio de cabeça.

2.4.3 Ensaios relativos a bancos

Os ensaios relativos aos bancos podem ser divididos em três grupos: ensaios de bancadas, ensaios sobre veículos e ensaios de proteção dos ocupantes.

2.4.3.1 Ensaios sobre bancadas.

O grupo de ensaios sobre bancadas compreende aqueles ensaios que são executados em laboratórios e podem ser executados pelo fabricante dos bancos ou pela montadora de veículos. Os principais ensaios deste grupo referente à avaliação estrutural são:

- Ensaio de fadiga da estrutura;
- Ensaio de carga de cedimento do encosto;

- Ensaio de fadiga do dispositivo de regulagem de inclinação do encosto;
- Ensaio de fadiga do dispositivo de desengancho e rebatimento do encosto – aplicada em bancos para carros de duas portas;
- Ensaio de fadiga e carga de manobra para o dispositivo regulador de altura;
- Ensaio de verificação funcional e de durabilidade do dispositivo regulador lombar;
- Ensaio de resistência e fadiga da estrutura e guias de deslizamento longitudinal;
- Ensaio de resistência da ancoragem dos pontos de fixação dos cintos;
- Ensaio de mau uso.

Neste grupo de ensaios de bancadas existem ainda os testes referentes à avaliação de um banco completo. Os principais são:

- Ensaio de fadiga do banco completo (estrutura, espuma, revestimento, plásticos e etc);
- Ensaio de cedimento do apoio de cabeça;
- Ensaio de dissipação de energia;
- Avaliação do perfil ergonômico;
- Avaliação de pressão no assento e encosto;
- Avaliação de flexibilidade.

Outros ensaios complementares são executados nos componentes: espumas, revestimentos e plásticos:

- Combustão;
- Aderência;
- Tração da costura;
- Tração do tecido;
- Resistência à luz - alteração de coloração;
- Desgaste;
- Características funcionais das espumas.

2.4.3.2 Ensaios sobre veículos.

O grupo de ensaios sobre veículos compreende aqueles ensaios que são executados pelo fabricante do automóvel. Os principais ensaios deste grupo são:

- Avaliação de confiabilidade, sendo executada no veículo. Este ensaio pode ser realizado em estrada ou no simulador de estrada;
- Avaliação de durabilidade. Também pode ser realizada em estrada ou simulador de estrada;
- Ensaio de mau uso;
- Avaliação acústica;
- Avaliação funcional das cargas de manobra.

2.4.3.3 Ensaio de proteção dos ocupantes

Neste grupo, os ensaios são realizados com veículo completo e, quando indicado pela norma, são utilizados manequins. Nestes ensaios, pode-se realizar uma avaliação completa do desempenho dos componentes. Os principais ensaios realizados no mercado europeu são:

- Colisão frontal regulamento *Economic Commission for Europe (ECE) R94*;
- Colisão frontal regulamento *European New Car Assessment Program of Vehicle Crash Testing (Euro NCAP)*;
- Colisão frontal regulamento *U.S. Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) - Standard 208 (1991)*;
- Colisão frontal regulamento *U.S. New Car Assessment Program of Vehicle Crash Testing (US NCAP)*;
- Colisão lateral diretriz Européia 96/27/CE;
- Colisão lateral regulamento *Economic Commission for Europe (ECE) R95 (2005)*;
- Colisão lateral *European New Car Assessment Program of Vehicle Crash Testing (Euro NCAP)*;
- Colisão traseira *U.S. Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) - Standard 301(1977)*;
- Resistência do banco, diretriz Européia 96/37/CE;
- Ancoragem do cinto de segurança, diretriz Européia 96/38/CE e regulamento *Economic Commission for Europe (ECE) R14*;
- Dissipação de energia do apoio de cabeça, regulamento *Economic Commission for Europe (ECE) R 21*;
- Ensaio de anti-chicoteamento nas colisões traseiras, regulamento *Economic Commission for Europe (ECE) R 25/05 (1992)*;

- Ensaio de intrusão de bagagem, regulamento *Economic Commission for Europe (ECE) R 17(2002)*;
- Avaliação de retenção para crianças, regulamento *Economic Commission for Europe (ECE) R 44*.

2.5 Estudos existentes no mundo sobre bancos

Pesquisas avançadas têm contribuído para uma nova geração de bancos automotivos, que estão relacionados a uma melhoria de desempenho na proteção aos ocupantes, entre as quais podem se citadas os apoios de cabeça ativados para a redução de lesões no pescoço e o uso de *air bag* nos assentos para evitar o escorregamento do usuário sobre o assento no momento de colisão frontal que neste caso poderia provocar lesões nas pernas do usuário.

Estas evoluções atingem as novas exigências relacionadas ao conforto térmico e acústico dos bancos. No primeiro item de pesquisa citado, que é o apoio de cabeça ativado, pode-se dizer que as pesquisas têm evoluído não somente neste componente, mas em todo o sistema banco para reduzir as lesões na coluna cervical provocada pelo chicoteamento¹ do corpo humano. Vários tipos de mecanismos têm sido desenvolvidos neste âmbito, dentre os quais pode-se citar os apoios de cabeça com mecanismo absorvedor de impacto e as estruturas do encosto com sistema anti-chicoteamento. O'Neill (1999) menciona o modelo de veículo SAAB 9-5 com absorvedor de energia no encosto do banco e apoio de cabeça ativo, ambos projetados para se moverem para trás carregado com o torso do ocupante. Alguns projetos de bancos para reduzir o chicoteamento dos usuários durante uma colisão traseira utilizam de sistemas de *air bags* interno ao revestimento e a espuma e outros projetos já utilizam avançados mecanismos de inclinação do encosto com o mesmo objetivo.

Para avaliar o desempenho destes projetos vários itens de suporte têm sido desenvolvidos. O manequim para ensaios de colisão nos veículos é um exemplo típico. Manequins que simulam o comportamento biomecânico do ser humano têm evoluído rapidamente nestas duas últimas décadas. Um manequim que foi desenvolvido para o ensaio de colisão traseira foi denominado de *Bio RID*.

1: chicoteamento ou ricochete é o efeito cinemático provocado no tronco, pescoço e cabeça do ser humano na solicitação de colisão traseira no veículo.

Segundo Kelly (2002) o *Bio RID* é um biofidelítico manequim para ensaios de colisões, projetado especificamente para o desenvolvimento e evolução do sistema bancos e para oferecer proteção aos ocupantes em baixas velocidades nas colisões traseiras. O *Bio RID* é basicamente um manequim equipado com articulação de uma coluna vertebral na região torácica e lombar com um leve tronco de borracha siliconizada. A coluna vertebral consiste de 24 vértebras que são conectadas e simulam cada vértebra do corpo humano (FIG. 2.4). Este manequim é instrumentado com transdutores e acelerômetros para avaliar a força e o momento solicitado no pescoço na simulação de uma colisão.

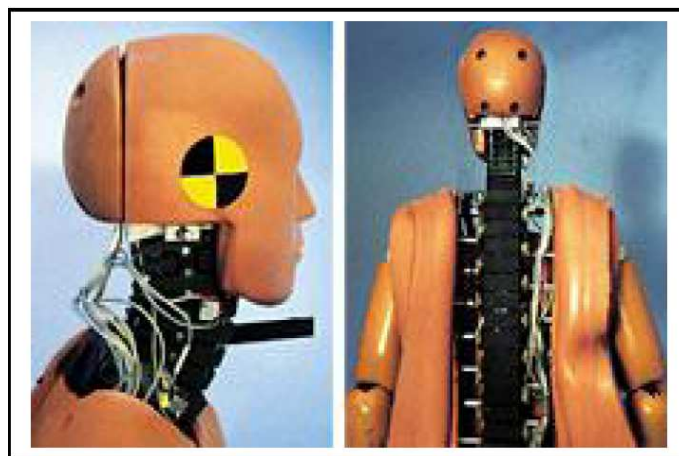


Figura 2.4 – BioRID-IIC Rear Impact Crash Test Dummy (KELLY, 2002)

Outro exemplo de instrumento utilizado para avaliar o desempenho destes projetos está no progresso da simulação virtual, onde o modelo humano com o uso de elementos finitos alcança níveis elevados de evolução. O modelo humano com o uso de elementos finitos também está sendo bastante utilizado nas avaliações de conforto dos usuários. Segundo Siefert et al. (2007), uma pesquisa virtual dos efeitos estáticos e dinâmicos sobre o conforto dos bancos exige a aplicação de um adequado modelo humano e requer um modelo de banco que considere as propriedades estáticas e dinâmicas da estrutura, da espuma e dos revestimentos. Procura-se um desempenho otimizado para um baixo nível de esforços transferidos para o condutor. O modelo humano utilizado por Siefert et al. (2007) é denominado de *CASIMIR* (FIG. 2.5 a FIG. 2.7). Este modelo permite a simulação do manequim sobre o assento avaliando a distribuição de pressão, e as vibrações que são transferidas do veículo para o corpo humano. Para avaliação do conforto estático, deve-se

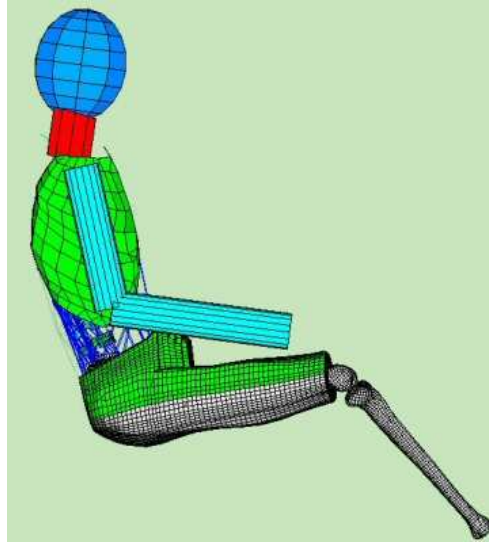


Figura 2.5 – Modelo dinâmico de elementos finitos do corpo humano
Fonte: WÖLFEL (2008)

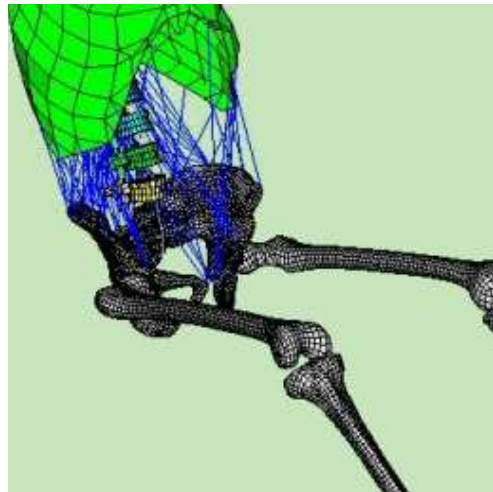


Figura 2.6 – Estrutura esquelética: espinha, pélvis, pernas e músculos das costas
Fonte: WÖLFEL (2008)

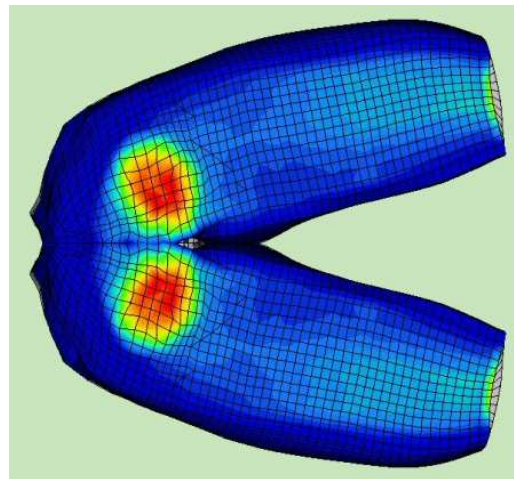


Figura 2.7 – Distribuição de pressão sobre as espumas do assento do banco
Fonte: WÖLFEL (2008)

seguir algumas regras. O posicionamento do modelo humano dentro do ponto H é importante para a ergonomia e avaliação de desempenho estrutural do banco. Este posicionamento do modelo humano simulando uma situação real na condução de um veículo deve seguir os procedimentos: inclinação do encosto, posicionamento do assento longitudinal e vertical se disponível, conforme os dados de projeto e ergonômico. O peso deverá representar o ser humano dentro da faixa estabelecida pela antropometria. Estes são alguns dos itens de suporte utilizados nos estudos e desenvolvimentos.

Relativo ao conforto em um banco, Wu et al. (1999) cita que a distribuição da pressão do ocupante no banco automotivo é um fator importante que afeta o conforto e possivelmente a eficiência de trabalho de vários motoristas. O estudo de distribuição da pressão na interface homem-banco automotivo, sob uma vibração é relevante aos motoristas que são expostos regularmente à vibração. A influência da forma geométrica da almofada do assento no conforto e postura do motorista tem sido avaliada por vários estudos. E estes estudos têm demonstrado que o apoio adequado do motorista no assento pode reduzir as tensões nos músculos das costas, nádegas e pernas, causadas por longo tempo de exposição.

Segundo Verver et al. (2005), o desenvolvimento de um banco mais confortável é um importante assunto na indústria automotiva. Entretanto o desenvolvimento de um novo banco automotivo consome tempo e custos, se este for baseado tipicamente numa evolução experimental usando protótipos. A modelagem computacional da interação homem-banco poderia acelerar este processo.

Na condução de um veículo por longo período, um dos fatores que prejudica o índice de conforto é a pressão demasiada na coluna lombar dos ocupantes, e de conseqüência causando dores nos mesmos. Johnson e Nève (2001) cita que nas análises de redução das tensões lombares causadas pelos bancos automotivos, verificou-se que um banco projetado com encosto ajustável na posição vertical para o alívio lombar promove um conforto do motorista na condução do veículo. Adicionalmente o ajuste do encosto resulta em um benefício de efeito muscular. Com o encosto inclinado para trás e este com um perfil ergonômico bem definido, o músculos que suportam o tronco reduzem o seu esforço de trabalho, desta forma reduzindo as tensões lombares.

Nas pesquisas e desenvolvimentos dos bancos para redução do chicoteamento do corpo humano sobre o banco, foi observado através dos itens de suporte que o desempenho do conjunto banco recebe forte influencia da forma da estrutura e da acomodação do usuário no banco. Segundo Jakobsson et al. (2000), nos novos sistemas de bancos o estudo e desenvolvimento do anti-chicoteamento, nos bancos automotivos é baseado em alguns

requerimentos. Basicamente pode-se citar sobre a forma geométrica dos bancos e a distância da cabeça do ocupante com o apoio de cabeça. Com base a estes requerimentos estudaram um projeto com um novo sistema de mecanismo de inclinação do encosto. O comportamento do banco é projetado para absorver parte da energia da colisão de forma a reduzir o chicoteamento. Isto ocorre em duas fases (FIG. 2.8). A primeira fase ocorre o movimento do encosto para trás. E este movimento possui três propósitos: o primeiro permitir que o ocupante afunde no encosto do banco, resultando em uma redução da distância entre a cabeça e o apoio de cabeça, o segundo propósito é iniciar o movimento sem mover o apoio de cabeça

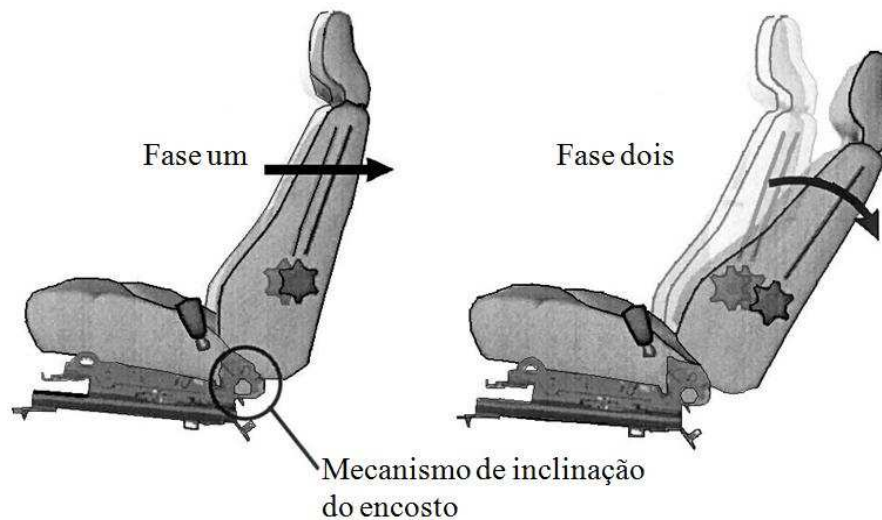


Figura 2.8 – A movimentação do banco no sistema WHIPS (Jakobsson et al.; 1999).

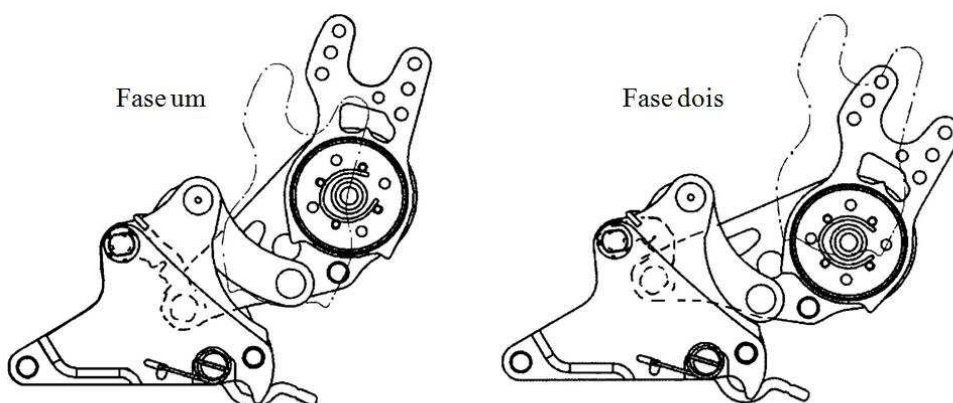


Figura 2.9 – Esquema da movimentação do mecanismo de inclinação do banco WHIPS (Jakobsson et al.; 1999).

e o terceiro propósito é limitar o nível de aceleração do ocupante, permitindo que o encosto se mova para trás de maneira controlada. A segunda fase consiste na movimentação do mecanismo de inclinação do encosto (FIG. 2.9). Este movimento tem um centro de rotação na

área do mecanismo de inclinação. O propósito nesta fase é continuar a redução da aceleração e absorção da energia do ocupante de maneira suave. O estudo do projeto do mecanismo de inclinação do encosto para absorção de energia e redução do chicoteamento do usuário no banco foi realizado dentro da empresa Volvo. Este estudo foi baseado no resultado do esforço de um trabalho de dez anos de pesquisa na área de lesões do pescoço proveniente das colisões traseiras nos veículos. Este projeto segue uma linha completa de pesquisas em acidentes para desenvolver um banco que possibilite aumentar a proteção do ocupante contra o chicoteamento resultante da colisão traseira. Com base na interpretação dos dados de pesquisa dos acidentes e dos conhecimentos biomecânicos, com a diretriz para melhorar a proteção do ocupante contra o chicoteamento são apresentados os requisitos e os métodos de ensaio que são baseados numa direção, onde os objetivos principais foram:

- a) Reduzir a aceleração do ocupante.
- b) Minimizar o movimento relativo entre a vértebra adjacente na região das vértebras cervicais (FIG. 2.10) e a junta do osso occipital que se localiza na parte posterior do crânio (FIG. 2.11).
- c) Minimizar o chicoteamento dentro do cinto de segurança.

Segundo Jakobsson et al. (2000) outras considerações são as diferenças individuais entre os ocupantes, a posição do banco e as variedades de posturas sobre o banco.

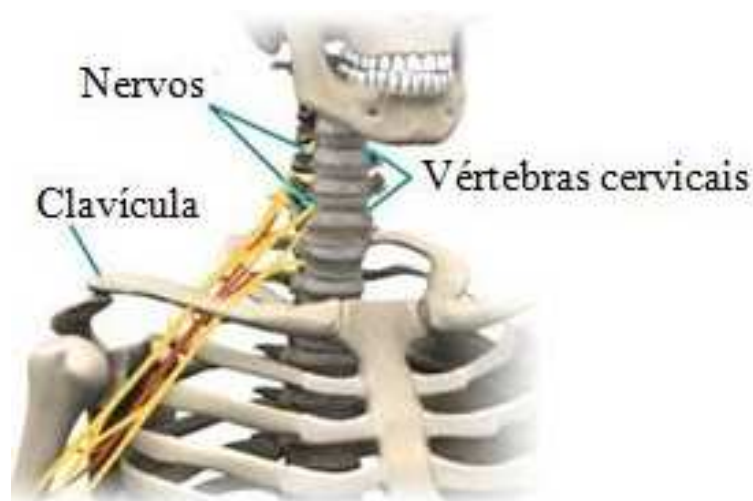


Figura 2.10 – Vértebras cervicais (Orthopod; 2009)

Todos os resultados, incluindo os ensaios dos sub-sistemas, o modelamento matemático, o ensaio dinâmico, os parâmetros geométricos encontrados no estudo são fontes consideráveis a oferecer um aumento da proteção do ocupante. Este estudo de Jakobsson et al. gerou o

desenvolvimento de um novo banco, o qual mostrou haver um potencial considerável na proteção contra as lesões no pescoço. O estudo foi introduzido nos bancos do veículo Volvo modelo S80.

Sobre o estudo das diferenças individuais, Dehner et al. (2008) realizaram um estudo da influência da antropometria sobre a cinemática da coluna cervical e o risco de lesões, utilizando voluntários femininos em ensaios sobre trenós com desacelerações do banco e ocupante. Fazendo uma correlação com os dados obtidos dos voluntários humanos com os dados do manequim biofidelico *RIDII*, resultou em significantes correlações, demonstrando uma confiabilidade no uso do manequim *RIDII*.

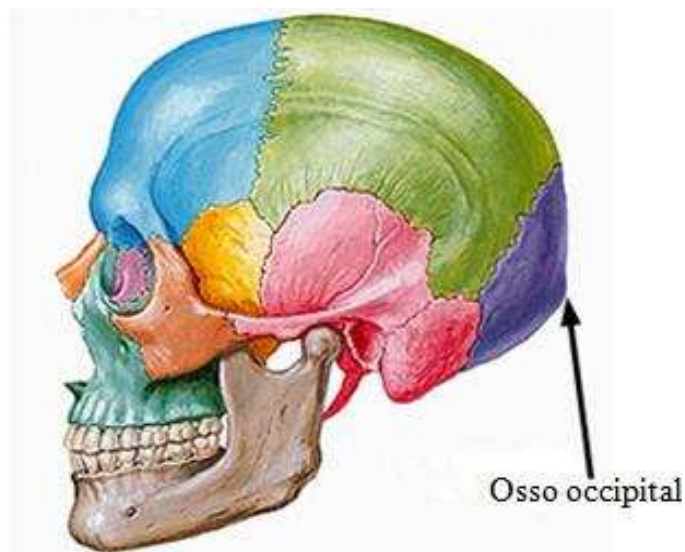


Figura 2.11 – Osso occipital (UPSTATE MEDICAL UNIVERSITY; 2008)

Em relação às pesquisas realizadas dentro das empresas pode-se mencionar que no ano de 2002 as empresas Autoliv e Renault lançaram o *anti-sliding bag* (FIG. 2.12), que é um componente adicionado ao assento do banco de forma a proporcionar uma melhor retenção dos ocupantes reduzindo o efeito *sub-marining* nos bancos (AUTOLIV Anti-sliding bag, 2002).

A empresa Autoliv desenvolveu o sistema *anti-whiplash seat* (AWS). Este sistema baseia-se no cedimento do mecanismo de inclinação do encosto, que terá uma alteração da inclinação do encosto controlada no momento de colisão traseira, para absorver energia e reduzir o ricochete no ocupante. Reduzindo assim as lesões sobre o ocupante na coluna cervical (AUTOLIV Anti-whiplash seat, 2009)



Figura 2.12 – Sistema anti-sliding bag (AUTOLIV Anti-sliding bag, 2002)

A empresa Lear Corporation, especializada na construção e desenvolvimento de bancos automotivos, apresenta uma segunda geração do sistema que reduz os carregamentos no pescoço do ocupante proveniente da colisão traseira no veículo (FIG. 2.13). Este sistema é nomeado pela LEAR *Protec plus anti-whiplash system* (LEAR – Safety, 2009)



Figura 2.13 – Sistema Protec plus anti-whiplash system (LEAR Safety, 2009)

A empresa JCI - Johnson Controls , também especializada na construção e desenvolvimento de bancos automotivos, desenvolveu um sistema nomeado de *Comfort Cools* (FIG. 2.14).. Este sistema é composto de ventiladores que são localizados no banco. A

utilização de tecidos e acolchoamentos específicos promovem a circulação do ar, eliminando o calor nas faces de contato do usuário com o banco (JOHNSON CONTROLS Comfort cools, 2009)



Figura 2.14 – Sistema Comfort Cools (JOHNSON CONTROLS Comfort cools, 2009)

Outro desenvolvimento da empresa JCI - Johnson Controls foi o sistema *Comfort Renews* (FIG. 2.15). Este sistema funciona com uma mudança de movimento que é criada sobre um par de células posicionadas no assento do banco, sob a espuma. A mudança de movimento estimula uma livre circulação do sangue nas nádegas e na espinha dorsal do ocupante do veículo reduzindo a fadiga e dor nas costas do mesmo (JOHNSON CONTROLS *Comfort Renews*, 2009).



Figura 2.15 – Sistema Comfort Renews (JOHNSON CONTROLS Renews, 2009).

Vários estudos têm sido realizados sobre os efeitos e a gravidade das colisões traseiras nos veículos. As estatísticas mostram que o índice de lesões provocado pela colisão traseira no veículo é superior aos outros tipos de colisão, (Watanabe et al., 2000). A figura 2.16 mostra um gráfico onde 43,5% das lesões são provenientes das colisões traseiras.

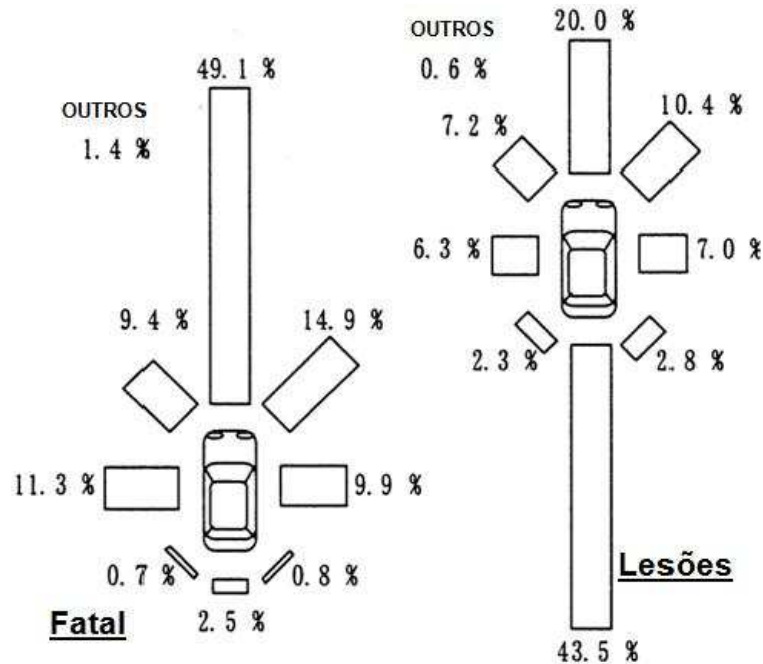


Figura 2.16 – Distribuição dos acidentes fatais e com lesões nos ocupantes de acordo com o tipo de impacto (Watanabe et al., 2000)

Colisões traseiras provocam um movimento de chicoteamento do corpo. O movimento de chicoteamento do corpo humano é provocado por ações e reações do tronco, pescoço e cabeça sobre o conjunto do encosto do banco. Neste movimento a coluna cervical do ser humano fica sujeita a lesões que podem ser graves.

Viano (2002 p. xix) cita que em colisões de baixas velocidades, a prevenção do chicoteamento é mais importante. A administração nacional da segurança nos tráficos das estradas nos Estados Unidos (NHTSA, 2002) estima que no período de 1988 a 1996 ocorreram 805.581 lesões provocadas pelo chicoteamento, que representou um custo de \$5,2 bilhões por ano. No Japão, a estatística mostra que os acidentes provocados por caminhões, 55% são de colisões traseiras nos veículos (Rear-end Collisions, Statistics in Japan, 2008). Segundo Viano (2002 p. 1), embora somente 5% do total de colisões envolvam impacto traseiro, elas resultam em aproximadamente 30% do total das lesões.

Viano (2002, p.10 e 11) cita da importância que o banco representa dentro do sistema de retenção e proteção do ocupante em uma colisão traseira no veículo. Um dos pontos

fundamentais quando se trata de colisões de alta severidade é o gerenciamento da energia provocada pela colisão. Para isto é preciso limitar a rotação do encosto do banco e manter a retenção do ocupante. A posição do apoio de cabeça no encosto é um fator importante na prevenção do chicoteamento. A diretriz da legislação número 78/932 (UNIÃO EUROPÉIA, 1978) prescreve as dimensões a serem seguidas nos apoios de cabeça para garantir uma adequada retenção do ocupante. Os regulamentos ECE R17(2002) e FMVSS 202 (2000) recomendam o posicionamento do apoio de cabeça, a uma distância mínima de 800 mm entre o ponto H e a extremidade deste apoio de cabeça para os postos dianteiros. Para os demais postos é aceitável uma altura mínima de 750 mm. Em projetos nos quais o apoio de cabeça fique com altura inferior, quando em desuso, o passageiro deverá reconhecer imediatamente que aquela não é a posição correta de uso do apoio de cabeça e ajustá-lo para a correta posição. Também a distância entre a cabeça do ocupante e o apoio de cabeça não deve superar 50 mm.

Viano (2002), cita que pesquisas de campo têm mostrado que o cedimento do encosto e deflexão são ambos absorvedores de energia e protegem os ocupantes das lesões. Entretanto em várias colisões, um ocupante sem cinto de segurança pode rotacionar sobre o encosto e mover-se suficientemente para cima com grande possibilidade de ocorrência de lesão.

Nos novos desenhos de estruturas de bancos e seus subsistemas, os projetistas e engenheiros procuram manter a posição dos troncos dos usuários apoiados nos encostos durante as solicitações de colisão traseira. Todavia, os testes têm demonstrado que os apoios de cabeça têm apresentado uma trajetória de abaixamento para trás com relação à cabeça, ao pescoço e à parte superior das costas do usuário. O estudo desta cinemática é um fator importante para o anti-chicoteamento do conjunto pescoço e cabeça do ocupante com um adequado posicionamento do apoio de cabeça mantendo uma pequena rotação do encosto.

Segundo Welcher e Szabo (2001) os estudos sobre o chicoteamento avançaram nos últimos 10 anos. Várias propostas de mecanismos têm sido associadas com a cinemática da cabeça do usuário em relação ao tronco. Os novos desenhos de bancos automotivos têm certamente reduzido a cinemática cabeça-tronco de forma a reduzir o pontencial do chicoteamento. As propriedades dos materiais e geometria dos componentes utilizados nos projetos de bancos devem reduzir o movimento cinemático da cabeça-pescoço dos ocupantes e também promover a absorção de energia.

A geometria, uma das propriedades relativas ao apoio de cabeça do ocupante, a dinâmica e a rigidez estática, e absorção de energia são determinadas através de teste de componentes. Os testes dinâmicos nos bancos têm mostrado que com um controle mais

rigoroso da distância vertical e horizontal da cabeça do ser humano com o apoio de cabeça do banco existe uma maior influência na cinemática da cabeça-pescoço do ocupante. Estas distâncias são significativamente correlacionadas com o movimento para trás, de translação da cabeça com o centro de gravidade relativo da parte superior do tronco dos ocupantes. Este movimento para trás também tem mostrado uma correlação significativa da rotação da cabeça relativa ao tronco. Já o movimento vertical tem uma correlação significativa com a aceleração relativa da cabeça para a parte superior do tronco durante a fase de flexão do impacto. As dimensões de altura mínima e distância mínima do apoio de cabeça ou do encosto relativo à cabeça do ocupante como já citado são fatores que influenciam diretamente no grau de segurança do ocupante.

O'Neill (1999) menciona em uma pesquisa de campo sobre o posicionamento do apoio de cabeça, que somente 3% usuários dos veículos analisados ficaram na condição geométrica boa (FIG. 2.17). 62% dos usuários pesquisados ficaram com a condição geométrica pobre. As medições verticais e horizontais do levantamento estatístico foram realizadas utilizando um projeto especial de cabeça montado no manequim SAE (FIG. 2.18).

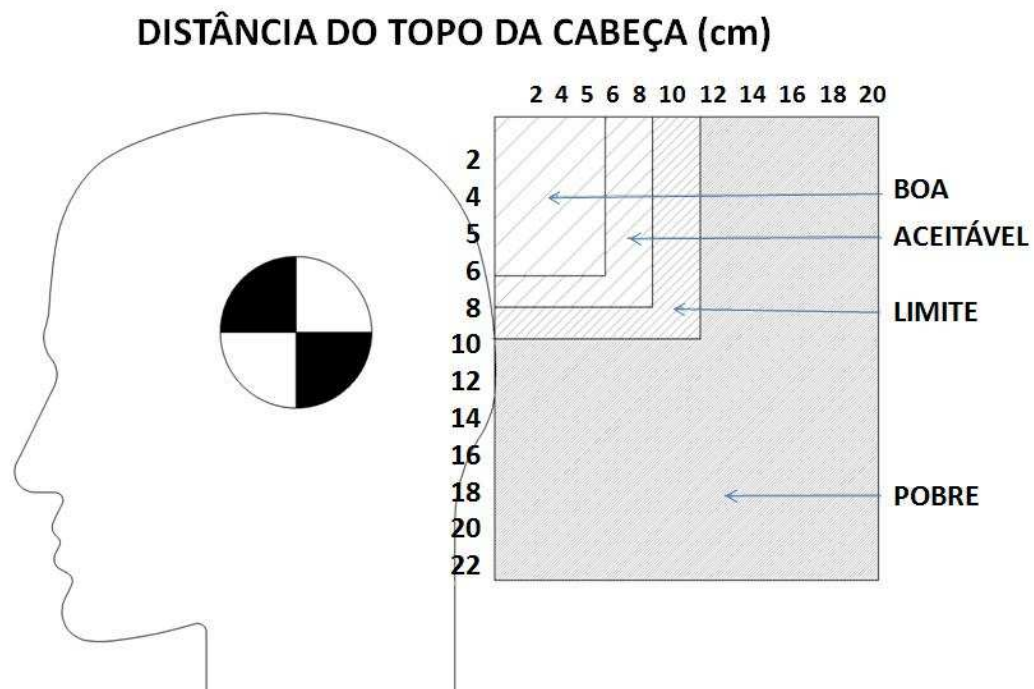


Figura 2.17 – Regiões geométricas para o manequim 50% percentil masculino, usado para dimensões relativas ao apoio de cabeça (O'NEILL, 1999)



Figura 2.18 – Manequim SAE, com cabeça para mensurar as distâncias verticais e horizontais relativas ao apoio de cabeça. (O'NEILL,2000)

Stemper et al. (2006) realizou um estudo do efeito da distância entre a cabeça e o apoio de cabeça na cinemática da coluna cervical e torácica provocada pela colisão traseira no veículo, e verificou-se que para distâncias inferiores a 60 mm ocorre a redução do efeito chicoteamento e reduzindo o ângulo de extensão das vértebras da coluna cervical. Pode-se concluir da grande influência da distância entre a cabeça com o apoio de cabeça na dimensão da lesão que pode afetar a coluna cervical do usuário.

2.6 Evoluções dos materiais utilizados na construção dos bancos.

A exigência dos mercados e também dos regulamentos legislativos, afetou os bancos automotivos, os quais passaram a ser construídos com materiais, cujas propriedades mecânicas possam atender ao adequado nível de desempenho exigido.

Scapaticci (2008) cita que os aços de alta resistência, encontram emprego crescente na indústria automotiva, graças a suas propriedades mecânicas e a sua capacidade de absorção de energia. O motivo de emprego destes aços se relaciona ao aumento da exigência na segurança.

Analisando a evolução da mesma categoria de carros nos últimos trinta anos, resulta evidentemente em um incremento de peso. A explicação reside no enriquecimento funcional presente nos atuais modelos, podendo-se citar: climatizador, atuadores elétricos, reforços e elementos estruturais para a segurança passiva, sistema de retenção para os passageiros, sistemas de pós-tratamento dos gases de escapamento, e isolantes acústicos. Todos estes elementos não eram presentes nos veículos do passado e a otimização estrutural da carroceria e do chassi não é somente a única exigência para reduzir o peso destes veículos. Nas situações atuais de redução de energia e de emissões de gases na atmosfera resultam em uma indispensável e urgente operação para a contenção do peso estrutural. Por uma série de motivações de dinâmica e de conforto, torna-se necessário garantir uma elevada rigidez da carroceria, unida à capacidade de deformação e de absorção de energia para fazer frente à exigência de proteção ligada à segurança passiva. Portanto estas diferentes e contrastantes necessidades requerem soluções tecnológicas apropriadas. Os aços de alta resistência são particularmente desenvolvidos para se obter uma estrutura leve e altamente resistente.

Scapaticci (2008) menciona os aços da SSAB Swedish Steel, uma das primeiras e maiores especialistas mundiais na produção de aços de alta resistência. Os aços de alta resistência compreendem várias classes de materiais, diferenciados em base as cargas de ruptura e deformação. São portanto convencionalmente classificados como de alta resistência e as características destes aços fornecem uma carga de ruptura superior a 355 MPa. A classe HSS (High Strength Steel) para limite de resistência até 600 MPa, para a classe EHS (Extra High Strength) para limite de resistência até 800 MPa e a classe UHS (Ultra High Strength) para carga de ruptura acima de 800 MPa. Scapaticci (2008) fornece um exemplo da aplicação destes aços em bancos de automóveis. O primeiro caso, a estrutura dos bancos da fila central do Volvo XC90, construído com aço de alta resistência da SSAB Swedish Steel. O problema a ser resolvido era resguardar a fixação do banco central, onde uma de suas funções é facilitar a entrada e saída dos passageiros através do rebatimento avante do encosto. Isto resultou em uma pesquisa de uma solução alternativa sendo possível a substituição da ancoragem convencional do encosto por outra solução onde o aço com alta resistência atendeu aos desempenhos exigidos do projeto.

Para avaliar a evolução dos materiais, foram utilizados dois tipos de estruturas de bancos. Assim, foram analisadas e comparadas as diferenças entre os utilizados e também a forma geométrica das estruturas. Uma das estruturas é de um projeto de 1995 (FIG. 2.19) e

de, um outro projeto do ano de 2004 (FIG. 2.20). Comparando as estruturas (FIG. 2.19 e 2.20) pode-se observar as diferenças geométricas entre elas. No módulo do encosto observa-se que a estrutura do projeto 1995 é bem esbelta, demonstrando leveza. Ao contrário, na estrutura do projeto 2004 percebe-se robustez, tanto nas laterais quanto nas travessas superior e inferior do encosto. Os materiais utilizados nas estruturas destes projetos são as chapas espessura 0,9 mm em material NBR EP 5915 espessura 1,0 mm em material USI STAR EM450, isto para as laterais dos encostos dos respectivos projetos de 1995 e 2004.



Figura 2.19 – Estrutura do banco Projeto 1995



Figura 2.20 – Estrutura do banco Projeto 2004

Nas travessas do encosto do projeto de 1995 já se utiliza na travessa superior o tubo com costura diâmetro 18,0mm espessura de parede 1.0 mm em material SAE 1008, na travessa inferior o material é o ABNT NBR EP 5915 com espessura de 0,6 mm. No projeto de 2004 as travessas do encosto são com material USI STAR EM 450 na espessura de 1,0 mm. Nos projetos dos assentos são utilizadas as chapas 1,2 mm em material USI STAR EM 450 e DOCOL 600 para a chapa espessura 2,0 mm isto respectivamente para os projetos de 1995 e 2004. Nas travessas anterior e posterior do quadro do assento já se utiliza os materiais NBR EP 5915 espessura 1,06 e USI STAR EM450 espessura 1,5mm, também dos respectivos projetos de 1995 e 2004. As propriedades mecânicas e composição química dos materiais estão informadas no anexo 1.

O envolvimento da antropometria neste projeto foi relacionado ao posicionamento do usuário sobre o banco a sua interface com o banco, tais como a posição do tronco com relação ao encosto e o posicionamento da cabeça com relação ao apoio de cabeça. Substituindo o objeto humano pelos dados antropométricos e pelo manequim tridimensional foi possível desenvolver os dispositivos dos ensaios com uma aproximação dimensional próxima das dimensões antropométricas humana. Somando-se a isto, foi verificado estatisticamente que na relação entre o homem com os impactos ocorridos no veículo, à colisão traseira corresponde com um índice considerável de lesões nos usuários quando comparada com as demais. E tudo isto contribuiu para a decisão de executar três ensaios estáticos, onde dois destes foram relacionados com a avaliação da resistência do encosto em estruturas de diferentes projetos. O outro ensaio estático se relaciona à capacidade de retenção do usuário, verificando o índice de deformação do ponto onde fixa o cinto de segurança na estrutura do banco.

3 METODOLOGIA

Os ensaios experimentais foram divididos em duas fases, denominados fase preliminar e fase final, como mostrado na figura 3.1.

Os ensaios preliminares foram realizados em estrutura de bancos de vários fabricantes já existentes no mercado. O objetivo destes ensaios era a consolidação da metodologia experimental adotada. Após a confirmação da metodologia, os ensaios finais foram realizados em bancos desenvolvidos pelas empresas fornecedoras da montadora onde este trabalho foi desenvolvido.

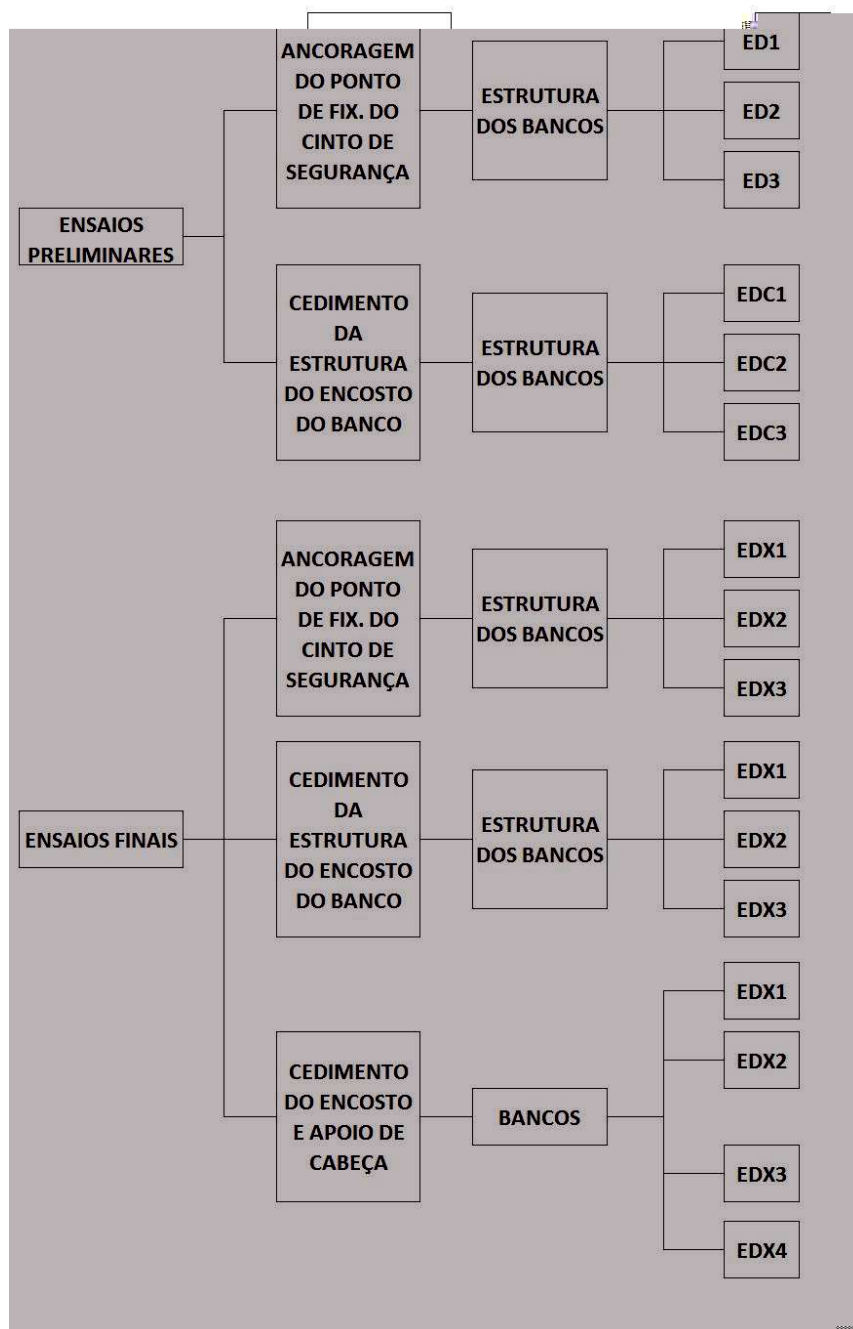


Figura 3.1 – Fluxograma dos ensaios realizados.

3.1 Ensaios preliminares

Nos ensaios preliminares foram realizadas avaliações comparativas entre estruturas de bancos de diferentes gerações. Foram realizados dois tipos de ensaios: o ensaio de ancoragem no ponto de fixação do fecho do cinto de segurança na estrutura do banco e o ensaio de cedimento da estrutura do encosto.

Estes ensaios foram comparativos, pois o fabricante destas estruturas não cedeu informações sobre as especificações dos materiais utilizados na construção das estruturas.

3.1.1 Ensaio de ancoragem do ponto de fixação do cinto de segurança

O principal objetivo deste ensaio é certificar que não ocorre ruptura do cinto de segurança ou da estrutura do banco. Outro objetivo é verificar o nível de deslocamento que ocorre no ponto de ancoragem com relação à situação inicial. Os instrumentos utilizados nestes ensaios foram: atuador hidráulico modelo MTS, capacidade: 2500 daN; célula de carga modelo MTS, capacidade 2500 daN; computador com software *Flex Test*; câmera fotográfica digital e goniômetro com resolução de 0,1° marca Mitutoyo, o qual foi utilizado para a medição de ângulos.

No ensaio de ancoragem realizado sobre o ponto de fixação do fecho do cinto de segurança foram comparadas três estruturas diferentes, nomeadas de ED1, ED2 e ED3 respectivamente. Os ensaios foram realizados com duas estruturas dianteiras esquerda ED1, duas estruturas dianteiras direita ED2 e uma estrutura dianteira direita ED3. As estruturas possuem as seguintes características comuns: estruturas em chapas de aço estampado, sistema de inclinação do encosto por sistema mecânico manual, sistema de deslocamento longitudinal do banco por trilhos e sem o sistema de ajuste de altura. ED1 é uma estrutura de uma geração de projeto do fim dos anos 90, contendo somente um mecanismo de inclinação do encosto de um lado (monolateral). O lado oposto é articulado apenas por pino e bucha, sem engrenamento. A estrutura do banco do projeto ED2 é uma estrutura projetada no meio dos anos 90, com conteúdo de mecanismo de inclinação do encosto de ambos os lados, e com uma geometria do encosto mais robusta que a do projeto ED3. A estrutura do banco do projeto ED3 também projetada no meio dos anos 90 contém mecanismos de articulação do encosto de ambos os lados (bilateral), e com a lateral da estrutura do encosto com vários recortes realizados por processo de estampagem para redução de peso.

O quadro 3.1, mostra um resumo das características das estruturas.

Tipo de banco	Época do projeto	Materiais	Articulação do encosto
ED1	Final dos anos 90	Aço estampado	Monolateral
ED2	Meio dos anos 90	Aço estampado	Bilateral
ED3	Meio dos anos 90	Aço estampado	Bilateral

Quadro 3.1 – Características das estruturas – Ensaio preliminar de ancoragem

Os ensaios foram realizados em uma bancada de teste de laboratório. O banco foi fixado a esta bancada através dos furos existentes nos trilhos de deslocamento longitudinal do banco, que são os pontos utilizados para a fixação sobre a carroceria do veículo. A figura 3.2 mostra um banco fixado à bancada de teste, com o atuador hidráulico já posicionado. Uma força é aplicada ao cinto de segurança através do atuador hidráulico.



Figura 3.2 – Banco com a Estrutura ED1- Fixado à bancada de teste para ensaio de ancoragem

O posicionamento do atuador hidráulico deve obedecer, os ângulos relativos à estrutura do banco conforme apresenta as figuras 3.3 e 3.4.

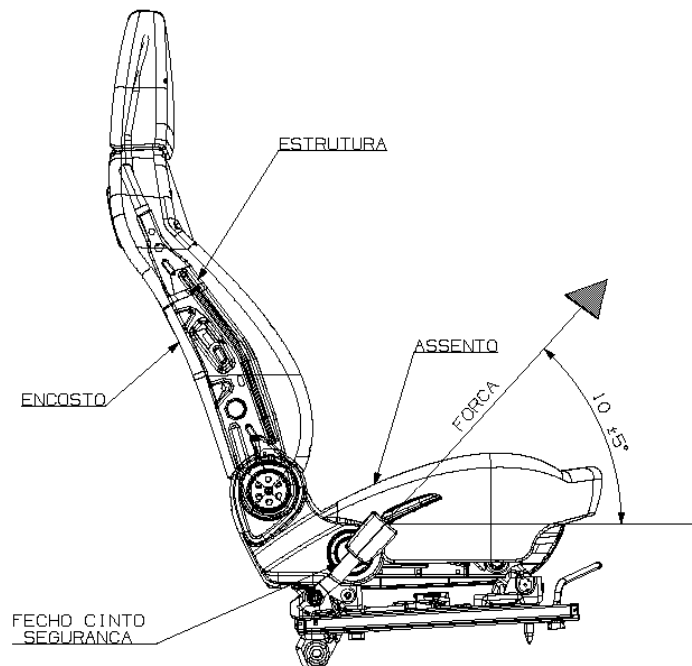


Figura 3.3 – Ângulos de atuação de força na estrutura - ensaio de ancoragem

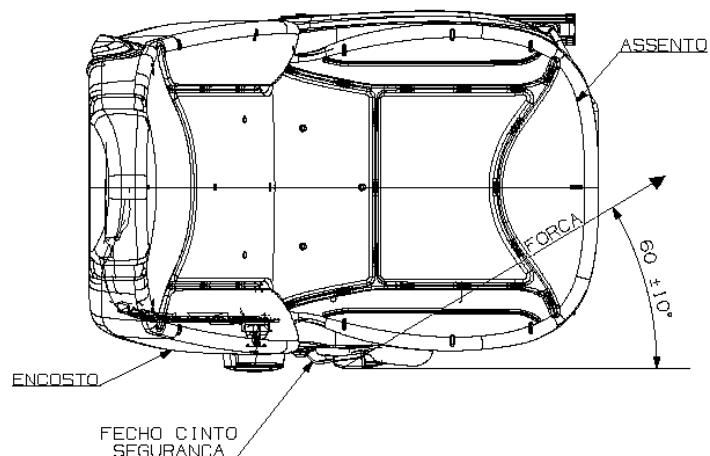


Figura 3.4 – Ângulos de atuação de força na estrutura - ensaio de ancoragem

As figuras 3.5 e 3.6 representam o esquema da preparação e da execução do ensaio de ancoragem, respectivamente. O ensaio foi realizado baseado nas considerações do regulamento Europeu ECE r14, no qual o tempo de aplicação da força não pode ser inferior a

2 segundos e o valor da força deve ser de 1350 ± 20 daN. A velocidade de aplicação da força 0,5 mm/s.

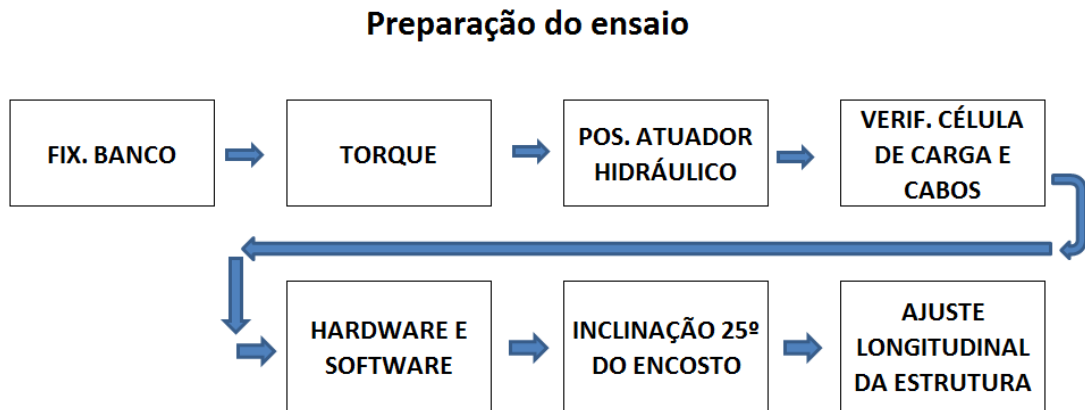


Figura 3.5 – Fluxograma da preparação do ensaio de ancoragem

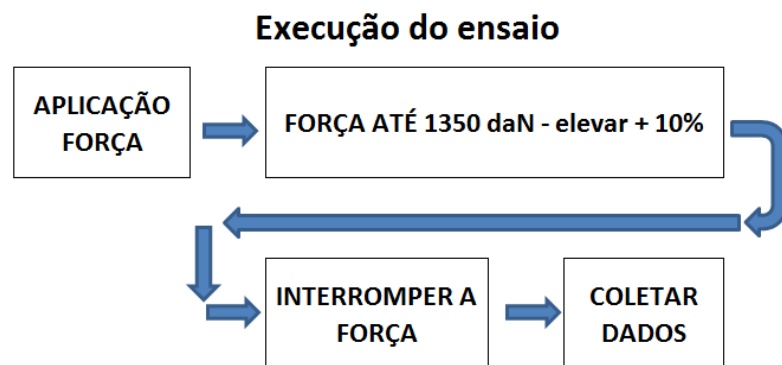


Figura 3.6 – Fluxograma da execução do ensaio de ancoragem

3.1.2 Ensaio de cedimento da estrutura do encosto

O ensaio de cedimento da estrutura do encosto serve para avaliar o nível de resistência da estrutura do encosto, que é uma das áreas da estrutura de grande solicitação na situação de colisão traseira do veículo. As estruturas foram nomeadas de EDC1, EDC2 e EDC3. As estruturas possuem as seguintes características: todas foram construídas por chapas de aço, conformadas por processo de estampagem e todas com sistema de inclinação do encosto por mecanismo manual de ambos os lados da lateral da estrutura do encosto com exceção da estrutura EDC2 que possui o mecanismo somente em um dos lados. O lado oposto articulado somente por pino e bucha. Quanto às formas geométricas, a estrutura EDC1 é uma estrutura esbelta, principalmente nos componentes do encosto. A estrutura EDC2 apresenta maiores

dimensões na largura e nas dobras das laterais do encosto quando comparadas com a estrutura EDC1. A estrutura EDC3, comparada às demais, possui uma lateral de encosto com maior largura, com nervuras acentuadas na extensão do comprimento da lateral, uma travessa superior em forma retangular na sua seção e com dimensões superiores as estruturas EDC1 e EDC2. O quadro 3.2, mostra um resumo das características das estruturas.

Tipo de banco	Materiais	Articulação do encosto	Forma geométrica do encosto
EDC1	Aço estampado	Bilateral	Suave
EDC2	Aço estampado	Monolateral	Média
EDC3	Aço estampado	Bilateral	Robusta

Quadro 3.2 – Características das estruturas – Ensaio preliminar de cedimento

O posicionamento do atuador hidráulico, também neste ensaio deve obedecer, os ângulos relativos à estrutura do banco conforme apresenta as figuras 3.7 e 3.8.

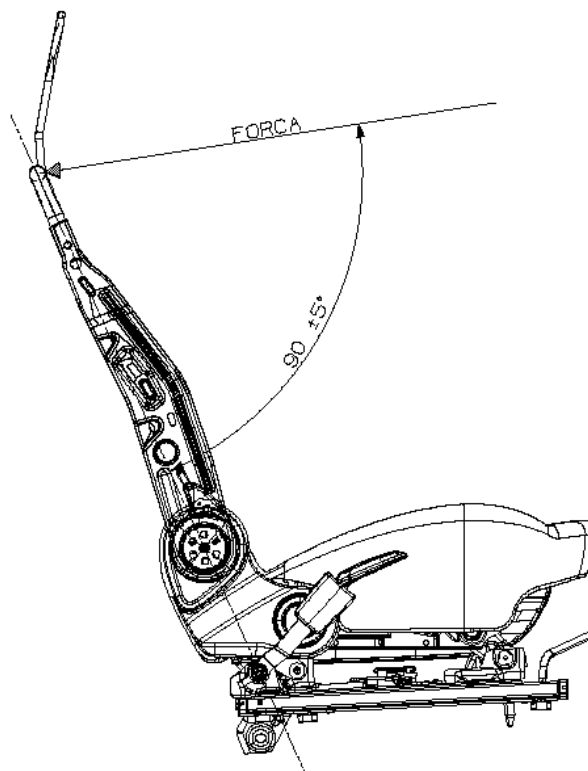


Figura 3.7 – Ângulos de atuação de força na estrutura – ensaio de cedimento do encosto

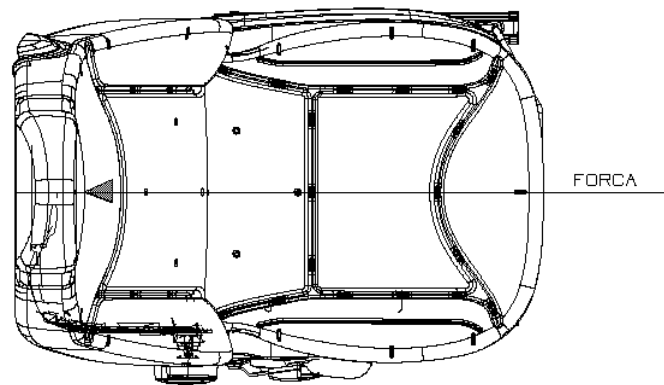


Figura 3.8 – Ângulos de atuação de força na estrutura – ensaio de cedimento do encosto

Os instrumentos utilizados para este ensaio foram os mesmos do ensaio de ancoragem citado no item 3.1.1. Na figura 3.9 é mostrado o esquema de preparação deste ensaio. A estrutura do banco é fixada na bancada de teste através dos furos existentes nos trilhos, com controle de torque dos parafusos. Após esta etapa certifica-se se o banco realiza todos os movimentos e ajustes sem esforço excessivo.

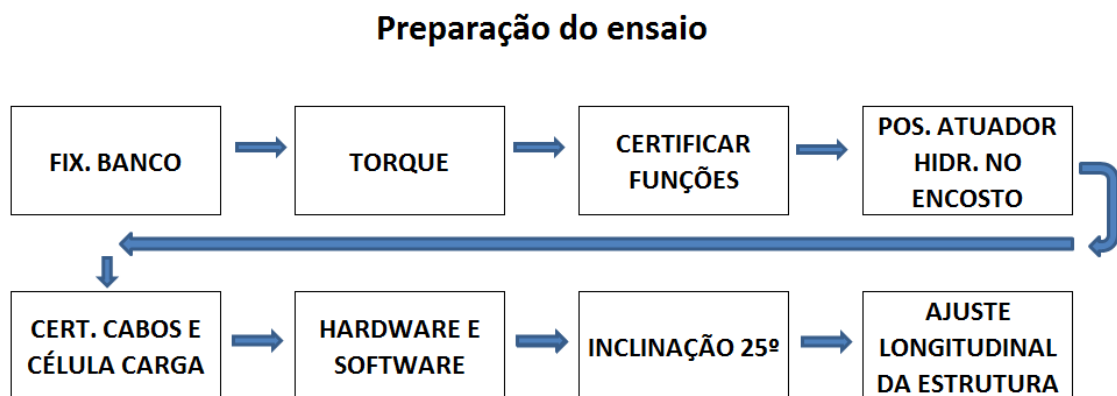


Figura 3.9 – Fluxograma da preparação do ensaio de cedimento do encosto

Na seqüência, a haste do atuador hidráulico é posicionada na travessa superior da estrutura do encosto. Então, posiciona-se a estrutura do banco longitudinalmente no ponto nominal e em seguida regula-se a inclinação do encosto para o ângulo de 25° com relação a uma linha vertical passando pelo ponto H. O ponto nominal corresponde ao ponto H, para um manequim SAE 95%, que corresponde aos ângulos de conforto de perna e tronco estabelecidos por um estudo aprofundado pela ergonomia automotiva. Para este manequim 95%, o ângulo de 25° corresponde ao ângulo de conforto de inclinação do tronco.

Na execução do ensaio, faz-se uma última avaliação do posicionamento da haste do atuador hidráulico para garantir o posicionamento de curso e ortogonalidade da haste com a

travessa da estrutura do banco. Inicia-se então o ensaio aplicando-se uma força gradual com velocidade de avanço do atuador hidráulico de 0,5 mm/s até atingir uma força nominal de 100 daN, quando o carregamento é interrompido a deformação da estrutura são coletados e armazenados. Volta-se o carregamento a zero e aplica-se novamente um esforço até atingir a força nominal de 165 daN. Interrompe-se novamente a aplicação de força e coletam-se os dados de deformação. Volta-se novamente ao carregamento zero e retorna novamente a aplicação de carga com a mesma velocidade de 0,5 mm/s até o colapso da estrutura. São coletados e armazenados os dados. O fluxograma da execução deste ensaio pode ser observado na figura 3.10.

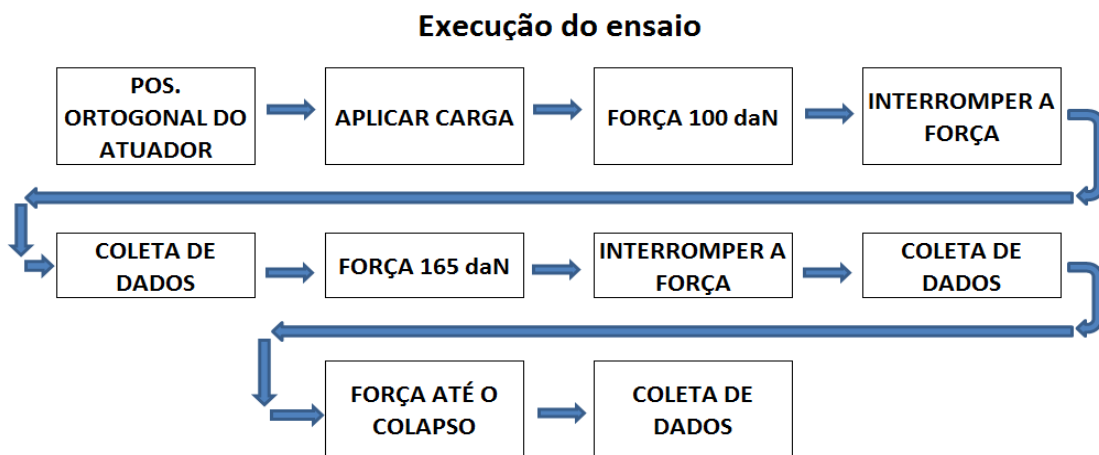


Figura 3.10 – Fluxograma da execução do ensaio de cedimento do encosto

Na figura 3.11 está mostrado a estrutura de banco EDC1 instalada na bancada de teste, com a extremidade da haste do atuador hidráulico já posicionado na travessa superior.

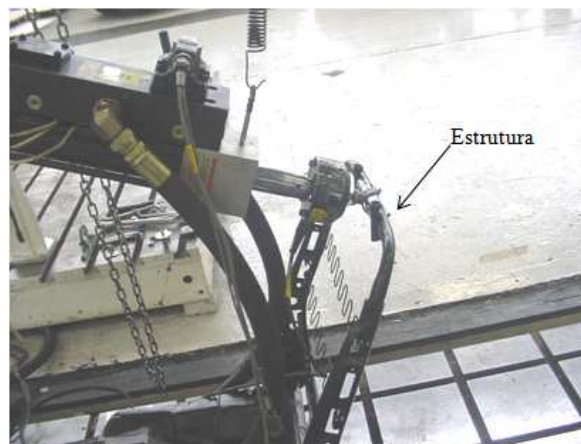


Figura 3.11 – Estrutura EDC1 - Posicionamento do cilindro do atuador hidráulico na travessa superior do encosto

3.2 ENSAIOS FINAIS

Para a execução destes ensaios foi projetada, desenhada e fabricada uma base. O objetivo da fabricação desta base foi garantir o correto posicionamento da estrutura do banco seguindo o mesmo plano existente da carroceria do veículo (FIG. 3.12).

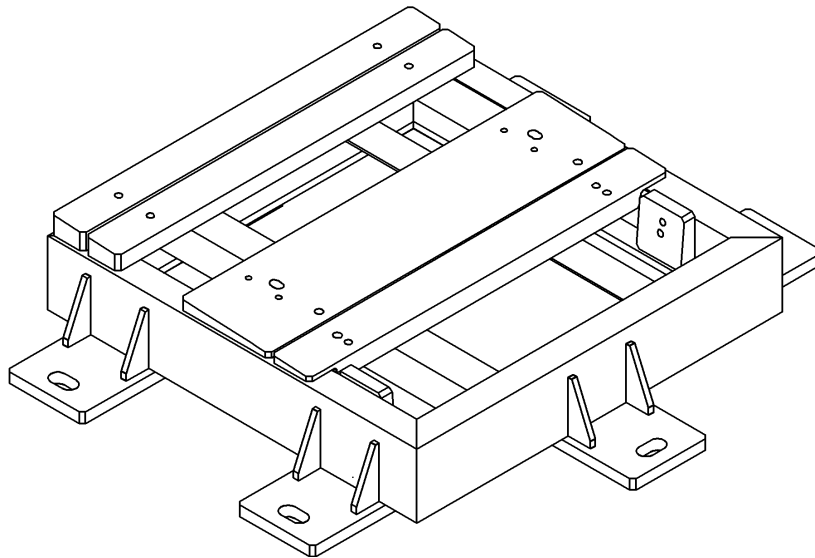


Figura 3.12 – Base de fixação das estruturas do banco - Ensaios estáticos

Na figura 3.13 é mostrado o banco sobre a base de teste para o ensaio de cedimento estático simultâneo.

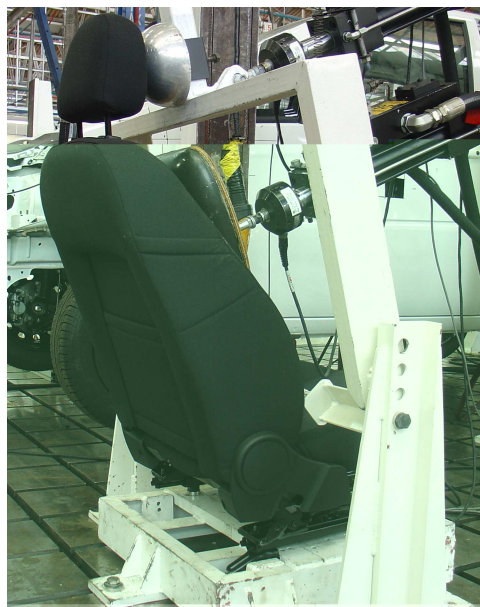


Figura 3.13 – Base de fixação da estrutura do banco - Ensaio estático

Além desta base, foi projetado e construído um dispositivo com uma semi-esfera e com a predisposição para fixação do busto SAE J826 (FIG. 3.14). Este dispositivo foi utilizado na execução do ensaio de cedimento simultâneo do encosto e apoio de cabeça e tem o objetivo de simular a nuca do crânio humano para transmitir a força no apoio de cabeça.

3.2.1 Ensaio de ancoragem do ponto de fixação do cinto de segurança

O objetivo deste ensaio, como citado no item 3.1.1, é certificar que não ocorra ruptura do cinto ou da estrutura do banco e verificar o nível de deformação que ocorre no ponto de ancoragem com relação à situação inicial. Os instrumentos utilizados nestes ensaios foram os mesmos citados no item 3.1.1

Neste ensaio foram utilizadas três estruturas diferentes, nomeadas de EDX1, EDX2 e EDX3. Os ensaios foram realizados com três amostras de cada tipo de estrutura. As estruturas possuem as seguintes características comuns: estruturas em chapas de aço estampado, sistema de inclinação do encosto por sistema mecânico manual de ambos os lados (bilateral), sistema de deslocamento longitudinal do banco por trilhos. A estrutura EDX3 possui sistema de regulagem de altura.

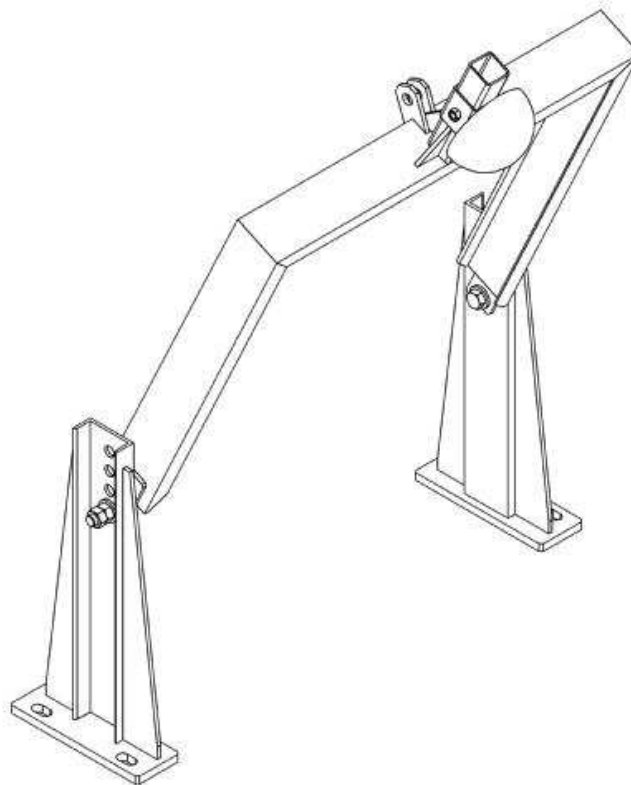


Figura 3.14 – Dispositivo para ensaio do apoio de cabeça - Ensaio estático

Na estrutura EDX1, no módulo do assento as laterais são usadas o material USI STAR EM 450 com espessura de 1,2 mm. Nas travessas anterior e posterior do módulo do assento desta estrutura, o material é o NBR EEP 5915 com espessura de 1,06 mm. Para as estruturas EDX2 e EDX3, o módulo do assento das laterais é fabricado com o material DOCOL 600 com espessura de 2,0 mm. As travessas anterior e posterior são produzidas com o material USI STAR EM 450 com espessura de 1,5 mm.

Os quadros 3.3 e 3.4 mostram os resumos das características das estruturas e materiais dos módulos dos assentos destas estruturas.

Tipo de banco	Materiais	Articulação do encosto	Ajuste longitudinal	Ajuste de altura
EDX1	Aço estampado	Bilateral	Trilhos	Não disponível
EDX2	Aço estampado	Bilateral	Trilhos	Não disponível
EDX3	Aço estampado	Bilateral	Trilhos	Disponível

Quadro 3.3 – Características das estruturas – Ensaio final de ancoragem

Tipo de banco	Especificações dos materiais		
	Módulo do assento		
	Laterais	Travessa dianteira	Travessa traseira
EDX1	USI STAR EM 450 esp. 1,2 mm	NBR EEP 5915 esp. 1,06 mm	
EDX2	DOCOL 600 esp. 2,0 mm	USI STAR EM 450 esp. 1,5 mm	
EDX3	DOCOL 600 esp. 2,0 mm	USI STAR EM 450 esp. 1,5 mm	

Quadro 3.4 – Especificações dos materiais das estruturas – Ensaio final ancoragem

Os procedimentos para os ensaios finais foram similares aos ensaios preliminares. O procedimento alterou somente com relação ao carregamento de força. No ensaio anterior, a carga era aplicada até atingir a 1350 daN. Nestes ensaios o procedimento foi alterado para duas fases de carregamento. O primeiro carregamento ocorre com uma força de 850 daN,

sendo esta aplicada por um tempo não inferior a 2 segundos. Retira-se a aplicação de força e efetuam-se as medições da deformação. Aplica-se nova carga até atingir um valor de 1750 daN, também com um tempo não inferior a 2 segundos. O fluxograma de preparação para o ensaio é o mesmo mostrado anteriormente (FIG 3.5). O fluxograma de execução do ensaio é mostrado na figura 3.15.

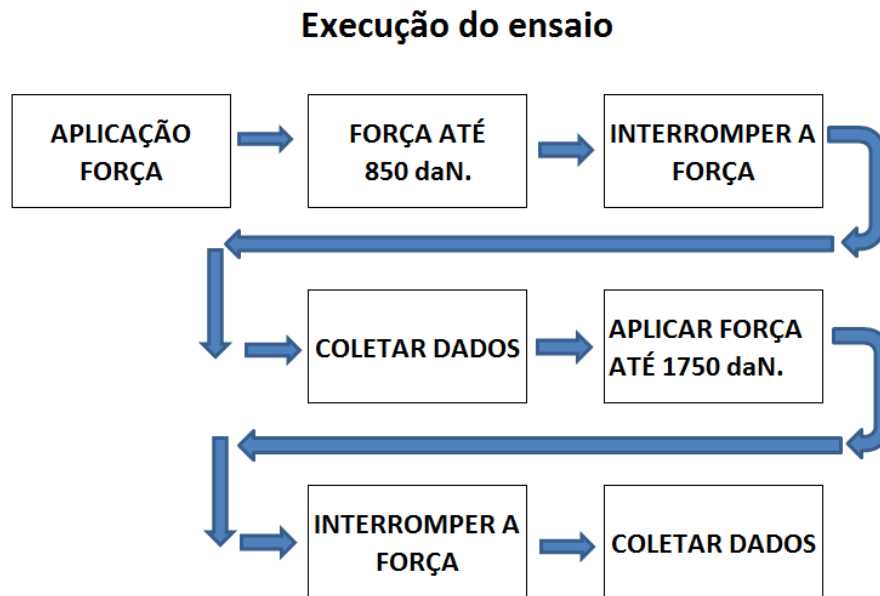


Figura 3.15 – Fluxograma da execução do ensaio final de ancoragem

3.2.2 Ensaio de cedimento da estrutura do encosto

Também como citado no item 3.1.2, o ensaio de cedimento da estrutura do encosto serve para avaliar o nível de resistência da estrutura do encosto, que é uma das áreas da estrutura de grande sollicitação na situação de colisão traseira do veículo. Os instrumentos utilizados para os ensaios foram os mesmos citados no item 3.1.1. O fluxograma (FIG. 3.5) de preparação deste ensaio é o mesmo que foi utilizado nos ensaios preliminares. A estrutura do banco é fixada na bancada de teste através dos furos existentes nos trilhos, com controle de torque dos parafusos. Após esta etapa certifica-se se o banco realiza todos os movimentos e ajustes sem esforço excessivo.

As estruturas de bancos utilizadas nestes ensaios também foram nomeadas de EDX1, EDX2 e EDX3, já que são as mesmas estruturas dos bancos utilizadas nos ensaios de ancoragem. Os ensaios foram realizados com três amostras de cada tipo de estrutura.

Na estrutura EDX1 o módulo do encosto é leve e com vários recortes realizados pelo processo de estampagem, com objetivo de redução de peso. O material utilizado nas laterais deste módulo é o NBR EP 5915 com espessura de 0,9 mm. Nas travessas do módulo do encosto, a superior é construída com tubo de aço com costura de diâmetro 18 mm e espessura de parede de 1,0 mm em material SAE 1008, a travessa inferior utiliza a mesma especificação de materiais das laterais, porém com a espessura de 0,6 mm. Nas estruturas EDX2 e EDX3, o módulo do encosto, tanto as laterais quanto as travessas são construídas com chapa conformada por processo de estampagem com espessura de 1,0 mm em material USI STAR EM 450.

O quadro 3.5 mostra os materiais dos módulos dos encostos destas estruturas.

Tipo de banco	Especificações dos materiais		
	Módulo do encosto		
	Laterais	Travessa superior	Travessa inferior
EDX1	NBR EP 5915 esp. 0,9 mm	Tubo de aço SAE 1008, diâmetro 18 e esp. de parede 1,0 mm	NBR EP 5915 esp. 0,6 mm
EDX2	USI STAR EM 450 esp. 1,0 mm		
EDX3			

Quadro 3.5 – Especificações dos materiais das estruturas – Ensaio final de cedimento

Os procedimentos para os ensaios finais foram semelhantes aos ensaios preliminares. Basicamente foi eliminado o carregamento intermediário de 165 daN, ficando a execução do ensaio da seguinte forma: faz-se uma última avaliação do posicionamento da haste do atuador hidráulico para garantir o posicionamento de curso e ortogonalidade da haste com a travessa da estrutura do banco. Inicia-se então o teste aplicando-se um força gradual com velocidade de avanço do atuador hidráulico de 0,5 mm/s até atingir uma força nominal de 100 daN. O carregamento é interrompido e coletam-se os dados de deformação da estrutura. Volta-se o carregamento a zero e retorna novamente a aplicação de carga com a mesma velocidade de

0,5 mm/s até o colapso da estrutura, coletando-se os dados. O fluxograma da execução deste ensaio pode ser observado na figura 3.16.

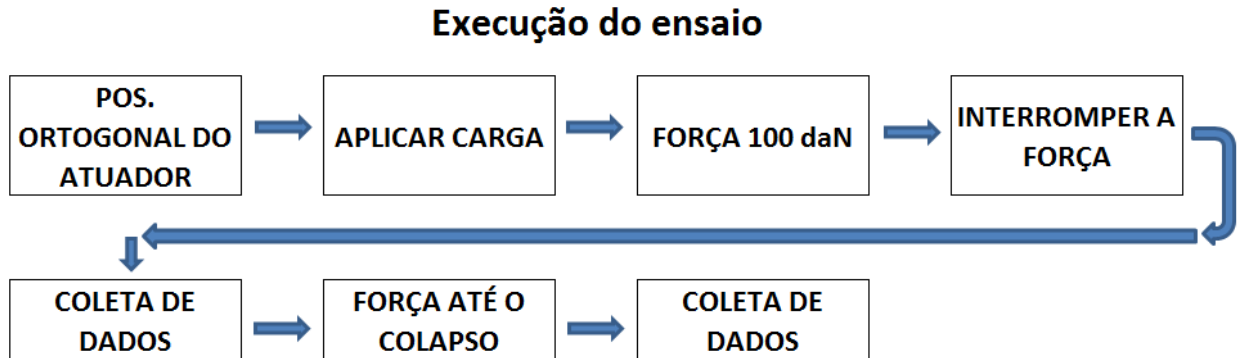


Figura 3.16 – Fluxograma da execução do ensaio final de cedimento do encosto

3.2.3 Ensaio de cedimento simultâneo do encosto completo e do apoio de cabeça

O objetivo deste ensaio é simular o carregamento de força que o tronco e cabeça do ser humano transmitem ao banco no momento de colisão traseira no veículo. Este ensaio utilizou como referência o regulamento Europeu ECE r 17.06 para os procedimentos de preparação e teste. Os instrumentos a serem utilizados para este ensaio foram: a base rígida para fixação do banco; o dispositivo de fixação do busto SAE J826 e da semi-esfera (FIG.3.17); um atuador hidráulico modelo MTS com capacidade de 2500 daN para a aplicação de força na semi-esfera; um atuador hidráulico modelo MTS com capacidade de 2500 daN para aplicação de força no tronco SAE J826; duas células de carga modelo MTS com capacidade de 2500 daN; goniômetro Mitutoyo com resolução de 0,1°; câmera fotográfica digital; computador com *software flex test* e o manequim tridimensional SAE 95%. Nos testes para o cedimento simultâneo foram com quatro diferentes tipos de bancos. Os bancos foram nomeados de EDX1, EDX2, EDX3 e EDX4. Foram ensaiados dois bancos de cada dos modelos EDX1 e EDX3 e três bancos de cada dos modelos EDX2 e EDX4. As características das estruturas dos bancos EDX1, EDX2 e EDX3 são aquelas citadas nos itens 3.2.1 e 3.2.2. A estrutura do banco EDX4 utiliza nas laterais do módulo do assento o material USI STAR EM450 com espessura de 1,2 mm e as travessas dianteiras e traseiras do módulo em NBR EEP 5915 com espessura de 1,06 mm.



Figura 3.17 – Base de fixação da estrutura do banco - Ensaio estático

Nas laterais do módulo do encosto é utilizado o material NBR EP 5915 com espessura de 0,9 mm, a travessa superior do encosto é construída com tubo de aço com costura de diâmetro 18 mm e espessura de parede de 1,0 mm em material SAE 1008 e a travessa inferior utiliza o material NBR EP 5915 com a espessura de 0,6 mm.

Na preparação para o ensaio, o banco é fixado na base rígida de teste através dos furos existentes nos trilhos, com controle de torque dos parafusos. Após a fixação certifica-se se o banco realiza todos os movimentos e ajustes sem esforços excessivos. Posiciona-se sobre o banco o manequim tridimensional SAE J826 (FIG. 3.18), ajusta-se o ângulo do encosto para 25° com relação à vertical, é posicionado o banco longitudinalmente no ponto nominal de projeto.

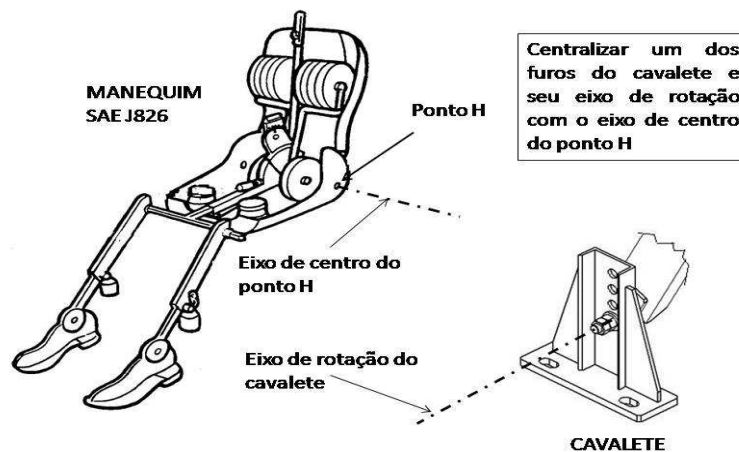


Figura 3.18 – Manequim SAE J826 e Cavalete do dispositivo de fixação do busto SAE e semi-esfera

Aproxima-se o cavalete centralizando um dos furos do mesmo, que é o eixo de rotação do dispositivo de montagem da semi-esfera e busto com o eixo de centro do ponto H do manequim SAE J826 (FIG.3.18).

O cavalete deve estar apoiado na base rígida de teste. Ajustada a aproximação com o ponto H, deve-se aparafusar os elementos de fixação do cavalete na base metálica para garantir a centralização com o ponto H. O manequim tridimensional SAE J826 é removido e posiciona-se o dispositivo com o busto e semi-esfera (FIG. 3.19).

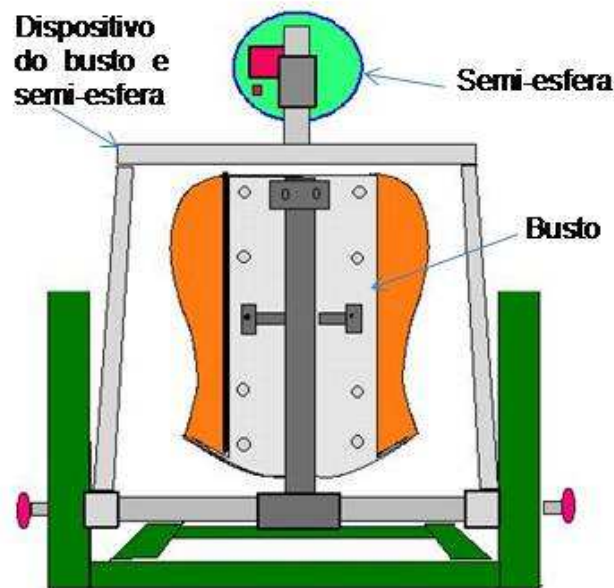


Figura 3.19 – Esquema do dispositivo com semi-esfera e busto instalados

A posição do busto é ajustada ao encosto, regulando-se o apoio de cabeça do banco para o mais alto possível. Em seguida ajusta-se a posição da semi-esfera no apoio de cabeça de forma que esta fique centralizada no apoio de cabeça e com uma distância de 65 mm abaixo do topo do apoio de cabeça. Os atuadores hidráulicos devem-se posicionar como se segue: o dispositivo da extremidade da haste do atuador deve ser fixado na travessa superior do dispositivo da semi-esfera (FIG. 3.20). Em seguida deve-se fixar o dispositivo da extremidade da haste do segundo atuador hidráulico no olhal do busto (FIG. 3.21).



Figura 3.20 – Olhal de fixação da haste do atuador hidráulico - Dispositivo semi-esfera



Figura 3.21 – Detalhe do ponto de fixação do dispositivo da haste do atuador hidráulico

Faz-se uma conferência da fixação dos cabos da célula de carga e efetua-se uma simulação seguindo passo a passo a execução do ensaio, interrompendo este a 10 % da aplicação da carga prevista no ensaio. Esta simulação tem o objetivo de verificar o funcionamento do sistema, de forma a evitar falhas na execução do teste que poderiam comprometer os resultados. A figura 3.22 mostra um fluxograma da preparação do ensaio de cedimento do apoio de cabeça e encosto.

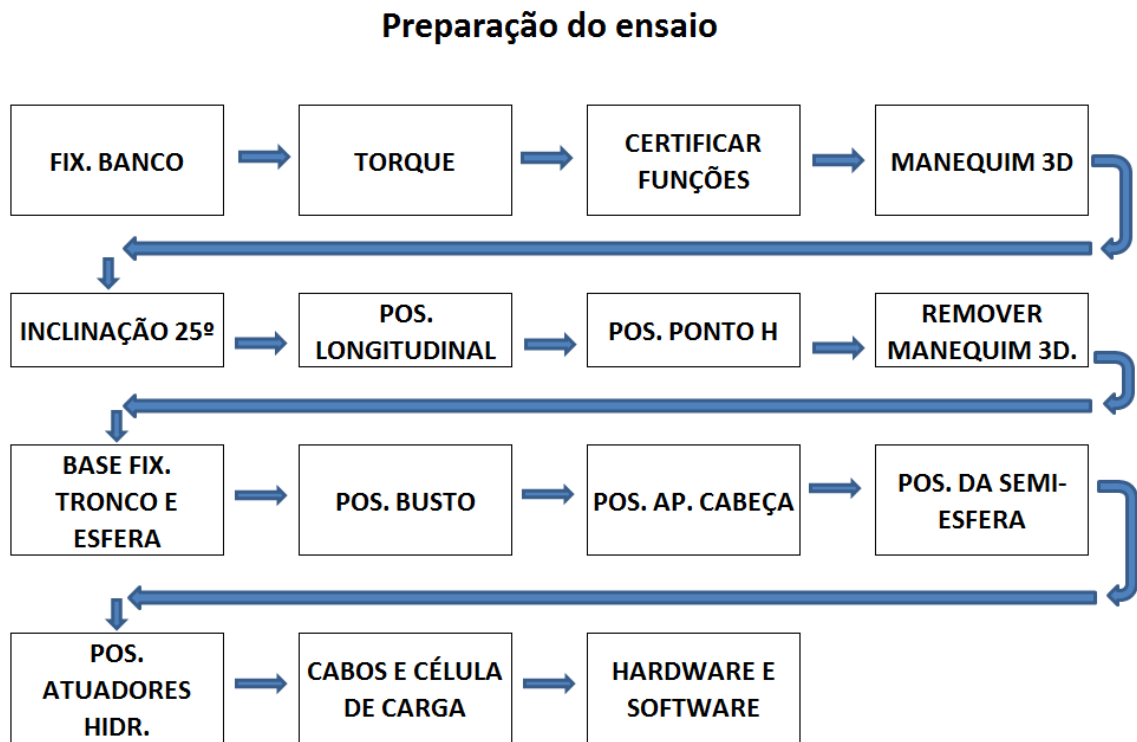


Figura 3.22 – Fluxograma da Preparação para o Ensaio de Cedimento Simultâneo do Encosto e Apoio de cabeça

Efetivamente antes de iniciar os ensaios deverá ser efetuado os registro dos dados, tais como: data, tipo de prova e identificação do objeto de teste. Logo em seguida devem ser efetuadas fotografias antes de iniciar o ensaio, com o objetivo de comparar as imagens das fotografias antes e após o ensaio. Uma verificação também deve ser realizada no dispositivo que recebe o busto e semi-esfera, certificando que o centro de giro deste esteja alinhado com o ponto H do banco, que por sua vez deverá estar com a inclinação do encosto a $25^\circ \pm 2^\circ$ com relação a uma linha vertical e com o apoio de cabeça regulado para o final de curso ao alto. Sob a face frontal do apoio de cabeça deverá estar posicionada a semi-esfera com o seu centro a 65 mm do topo do mesmo. Para os cabos das células de carga, conexões e atuadores devem ser realizados uma inspeção visual. Na figura 3.23 um fluxograma de realização do ensaio de cedimento é mostrado.

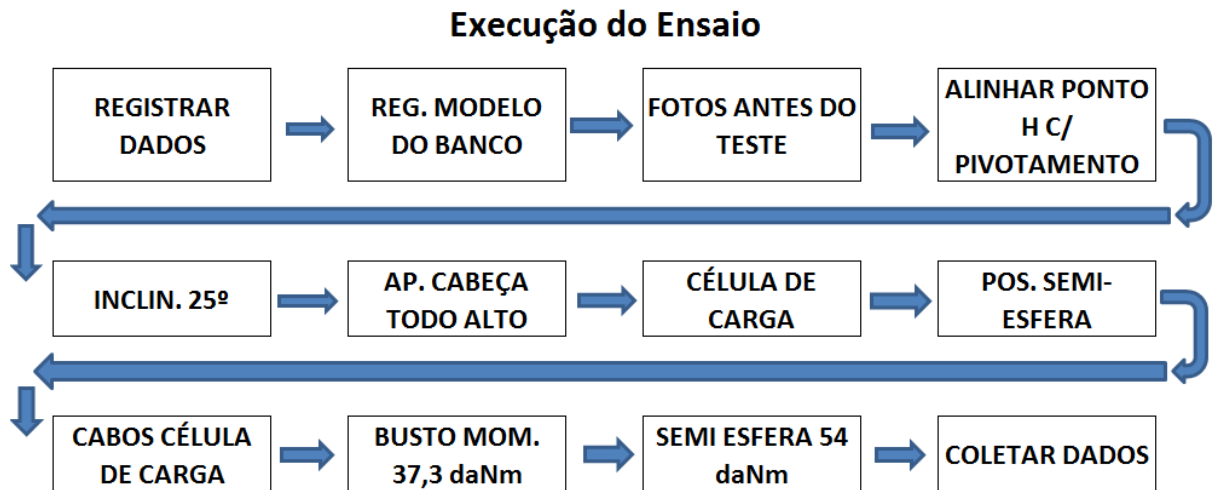


Figura 3.23 – Fluxograma da execução para o Ensaio de Cedimento Simultâneo do Encosto e Apoio de cabeça

O ensaio inicia-se com uma aplicação de carga no busto que resulte em um momento de 37,3 daNm, e 5 segundos após com uma carga na semi-esfera que resulte em 54 daNm. Finalizando o ensaio coletar os dados de deslocamento do encosto e do apoio de cabeça.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Resultados experimentais preliminares

4.1.1 Ancoragem do ponto de fixação do cinto de segurança

Neste ensaio de ancoragem foram utilizadas as três diferentes estruturas de bancos dianteiros ED1, ED2 e ED3. A estrutura do banco ED1 possui no sentido transversal (direção da coordenada Y do carro) uma curta distância entre o ponto de ancoragem do fecho do cinto de segurança com a ancoragem do trilho de deslizamento longitudinal do banco quando comparada às estruturas ED2 e ED3. A estrutura do banco ED3 é a que possui uma maior distância na coordenada Y do ponto de ancoragem do fecho do cinto de segurança com relação ao trilho de deslizamento longitudinal. Uma maior distância entre o ponto de ancoragem do cinto e o trilho implica em um aumento do esforço do momento na estrutura do banco que poderá resultar em uma maior deformação da estrutura. Os deslocamentos serão citados seguindo as coordenadas do veículo nas direções X e Z (item 2.3, pág. 20)

Foram testados dois lotes de estruturas. Como estes ensaios fora, realizados somente para avaliar a preparação, o carregamento foi aplicado até atingir a força de 1500 daN. No primeiro lote foram testadas as estruturas ED1 e ED2, as quais apresentaram os deslocamentos residuais nas coordenadas X e Z (FIG.4.1)

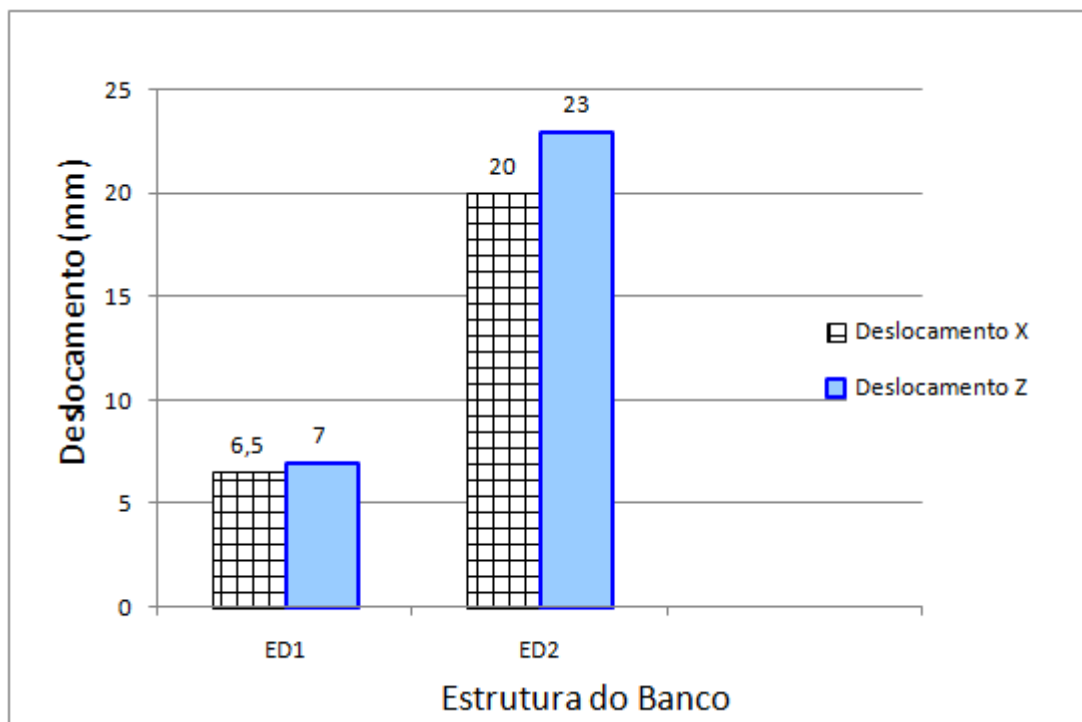


Figura 4.1 – Deslocamentos residuais – ensaio de ancoragem

No segundo lote, foram testadas as estruturas ED1, ED2 e ED3 que apresentaram as deslocamentos residuais mostradas na figura 4.2.

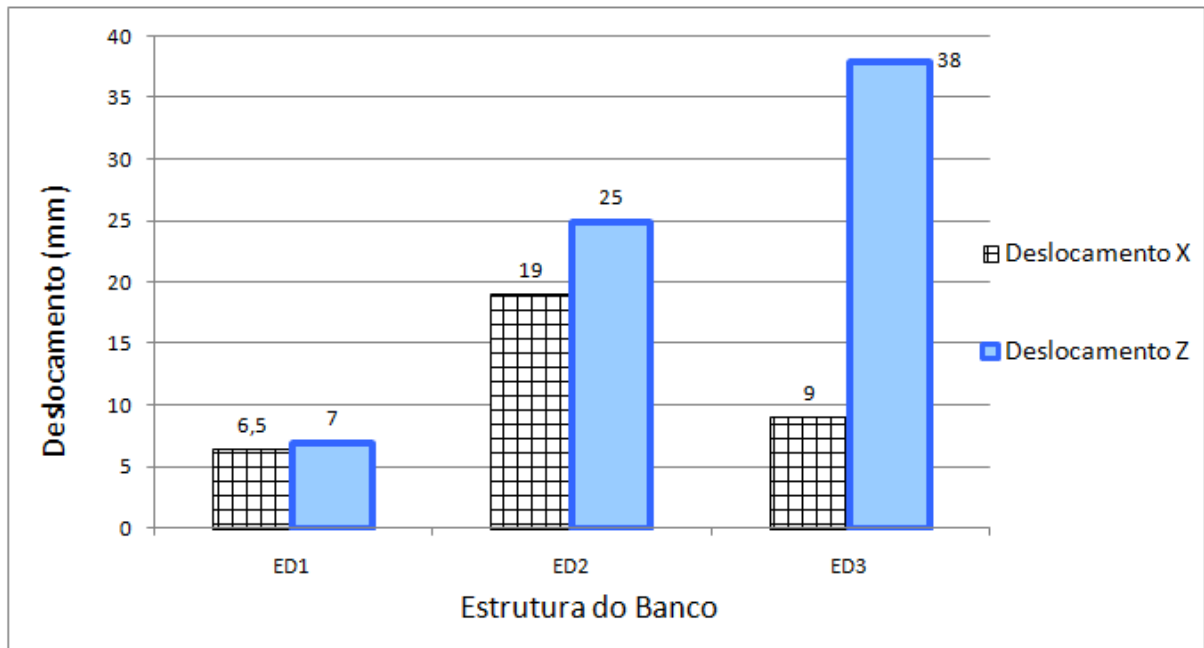


Figura 4.2 – Deslocamentos residuais – ensaio de ancoragem

Estes resultados mostram que estrutura com menor distância transversal entre o ponto de ancoragem do fecho do cinto de segurança e o trilho de deslizamento longitudinal, apresenta menor deslocamento.

Comparando as deformações residuais nas coordenadas X e Z das três estruturas, pode-se verificar que a estrutura ED1 é a que apresentou o melhor resultado, ou seja, a menor deslocamento. A estrutura ED2 teve o pior resultado apresentando um deslocamento médio na coordenada X de 19 mm; apesar do deslocamento da estrutura ED3 atingir 38 mm na coordenada Z. Quanto à segurança dos ocupantes é mais crítico haver deslocamentos elevados no sentido X, pois isto permitirá uma aproximação do usuário contra o volante ou painel do carro.

Assim, como a estrutura ED3 tem pequeno valor de deslocamento na coordenada X, ela é mais segura que a estrutura ED2.

A figura 4.3 mostra uma comparação dos deslocamentos das três estruturas. Pode-se observar que os valores apresentados são diferentes quanto aos apresentados na figura 4.2. Isto se deve ao fato do *software* utilizado, apresentar a resultante dos deslocamentos nas três coordenadas. Neste caso a avaliação fica complexa, dificultando decidir qual seria o pior caso. Se analisar somente pelas curvas da figura 4.3, poderia ser concluído que o pior resultado é da estrutura ED3. Porém, como visto anteriormente, a pior situação foi aquela apresentada pela estrutura ED2.

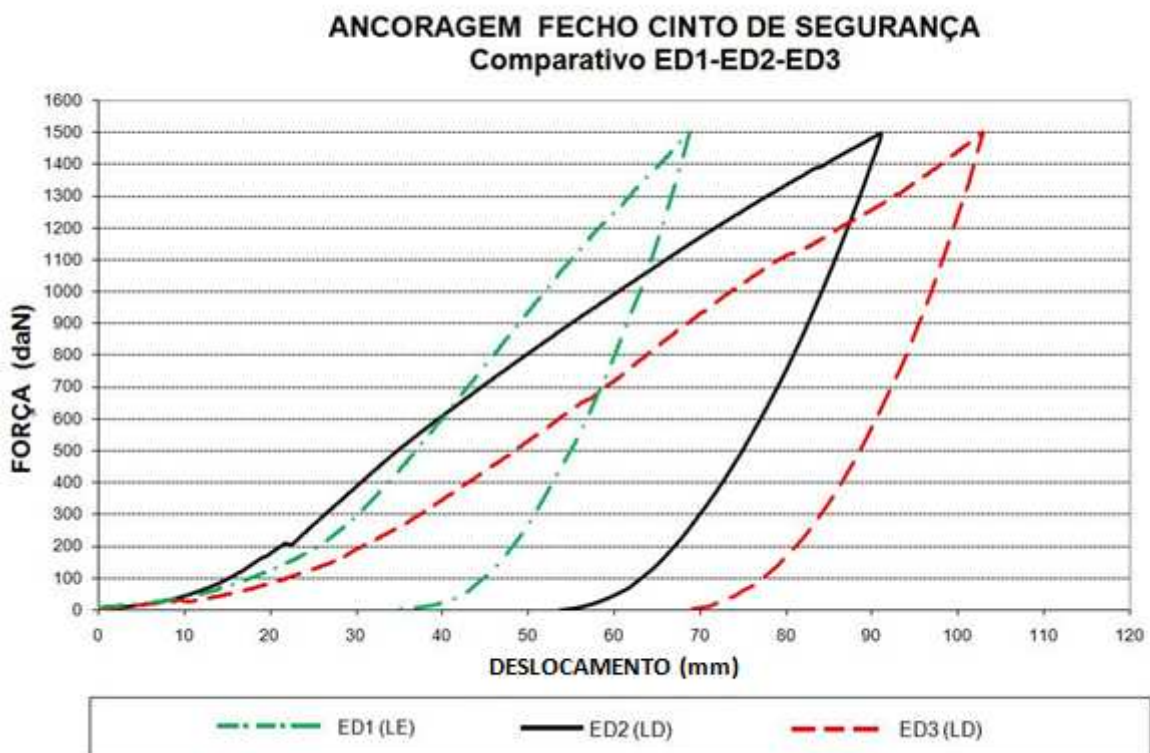


Figura 4.3 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de ancoragem no ponto de fixação do fecho de cinto de segurança na estrutura do banco

As figuras 4.4 e 4.5 apresentam as imagens do banco ED1 antes e após o teste, respectivamente. Na imagem da figura 4.5 fica evidente a deformação que ocorre no suporte de fixação do fecho do cinto de segurança e também do trilho da estrutura.



Figura 4.4 – Banco estrutura ED1 – Antes do ensaio de ancoragem do fecho do cinto



Figura 4.5 – Banco estrutura ED1 - Após o ensaio de ancoragem do fecho do cinto

4.1.2 Cedimento da estrutura do encosto

As estruturas dos bancos utilizadas nos ensaios de cedimento foram nomeadas de EDC1, EDC2 e EDC3. As características destas estruturas estão citadas no item 3.1.2.

Os resultados obtidos nos ensaios mostraram que na estrutura EDC1, na primeira aplicação de força nominal a 100 daN, obteve-se um deslocamento permanente da travessa superior do encosto com relação a coordenada X de 11,0 mm. Elevando-se a carga novamente a um esforço nominal de 165 daN, a estrutura não suporta a carga e entra em colapso a 155,2 daN (FIG. 4.6).



Figura 4.6 – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC1- Imagem da estrutura após o ensaio

A figura 4.7 mostra o comportamento da estrutura com estes carregamentos descritos.

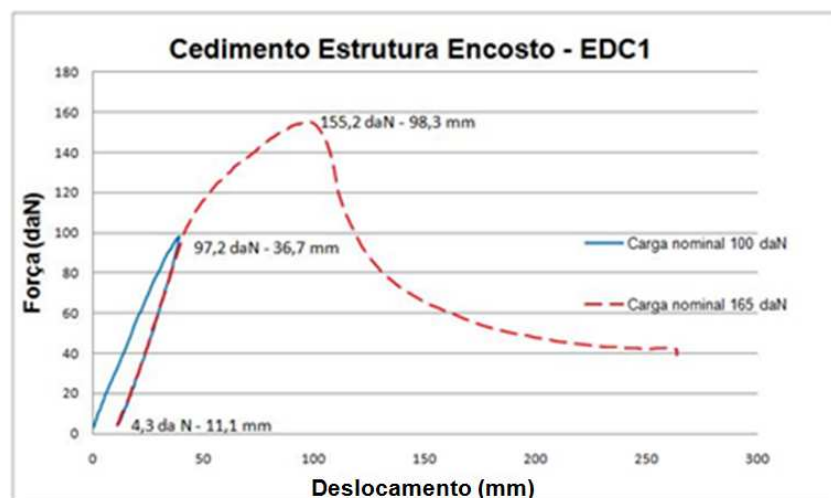


Figura 4.7 – Força X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC1

A estrutura EDC2, na primeira aplicação de força nominal a 100 daN, ficou com uma deslocamento permanente do encosto com relação a coordenada X de 24,9 mm. Elevando-se a carga novamente para o esforço nominal de 165 daN, observou-se que ao atingir pouco mais de 100 daN ocorreu uma acentuada deslocamento. E ao atingir o valor de 119,1 daN a estrutura entra em colapso (FIG.4.8).

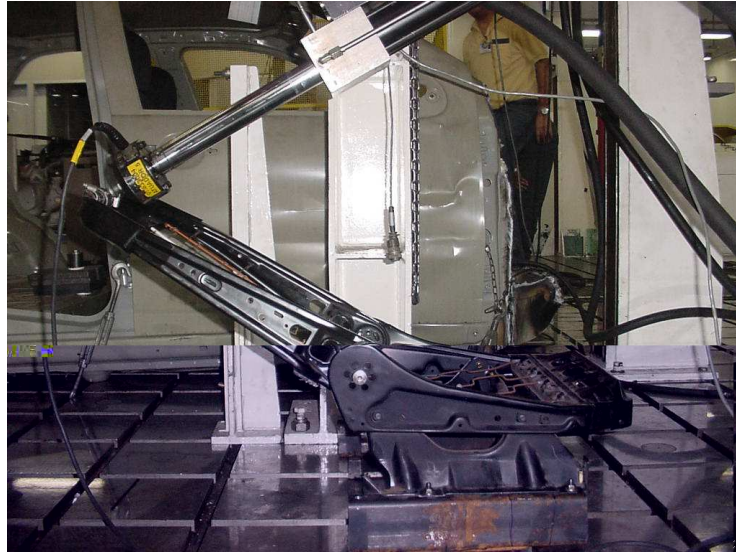


Figura 4.8 – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC2- Imagem da estrutura após o ensaio

A figura 4.9 mostra o comportamento da estrutura com estes carregamentos descritos.

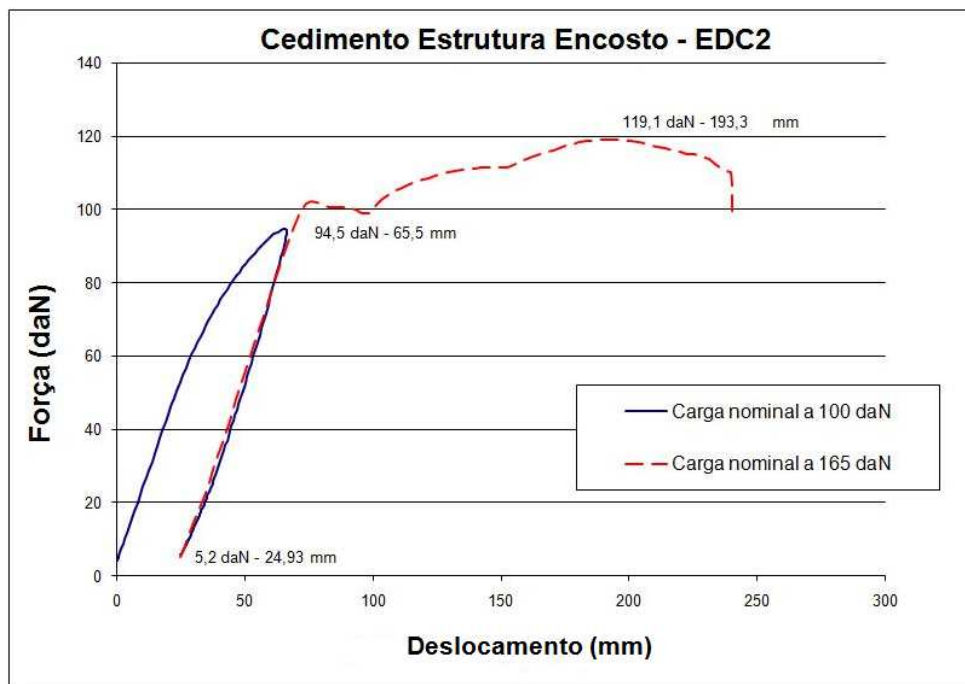


Figura 4.9 – Força X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC2

A estrutura EDC3 na primeira aplicação de força nominal a 100 daN, ficou com um deslocamento permanente do encosto com relação a coordenada X de 6,3 mm (FIG. 4.10). Elevando-se a carga novamente a um esforço nominal de 165 daN, a estrutura apresentou um bom desempenho chegando próximo a 180 daN de esforço.

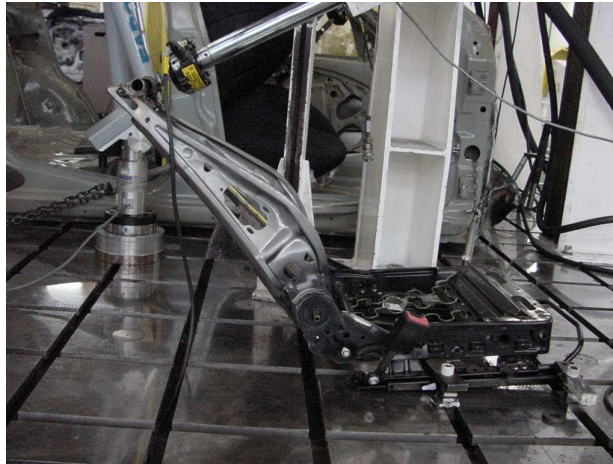


Figura 4.10 – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC3- Imagem da estrutura após o ensaio

Após a retirada do carregamento verificou-se que a estrutura ficou com um deslocamento permanente de 18,3 mm. A carga foi elevada novamente até atingir um valor nominal de 300 daN. Ao atingir a 282,2 daN o ensaio foi interrompido, pois o atuador hidráulico atingia o seu final de curso. Com este valor pôde-se verificar um deslocamento permanente de 135,8 mm. A oscilação que ocorre no carregamento quando o atuador atinge o final de curso (FIG. 4.11).

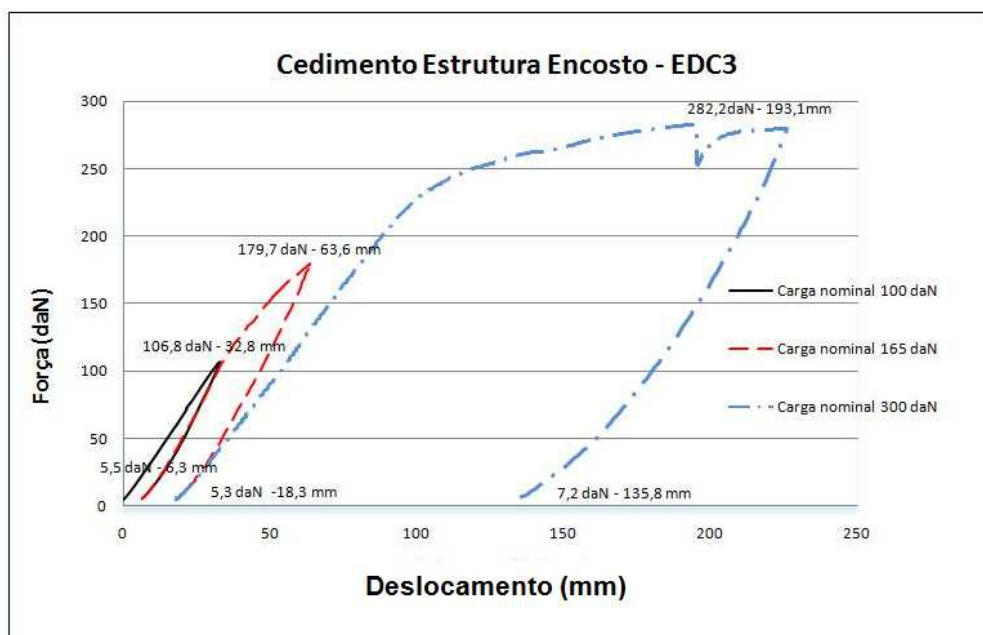


Figura 4.11 – Força X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura do encosto banco EDC3

Observando-se o comportamento das três estruturas (FIG. 4.12). Fica evidente que a estrutura EDC3 é a que apresenta melhores resultados. A forma geométrica desta estrutura leva a induzir como uma das características que levou a estrutura a atingir um melhor desempenho que as outras duas (EDC1 e EDC2). A estrutura EDC1 apresentou um desempenho superior a EDC2 na força próxima de 100 daN resultando em um menor deslocamento. Também, a estrutura EDC1 apresentou uma carga superior no colapso quando comparada à estrutura EDC2 (FIG. 4.13). Isto ocorre pelo fato da estrutura EDC1 possuir mecanismos de inclinação do encosto em ambos os lados. A estrutura EDC2, ao contrário, apresenta o mecanismo somente de um lado. No lado oposto ao mecanismo existe apenas um mancal de bucha simples para permitir o giro do encosto relativo ao assento. Nas figuras 4.6 e 4.8 podem-se observar as estruturas após os ensaios. No ensaio com a estrutura EDC2 não ocorreram grandes deslocamentos nas laterais da estrutura do encosto e sim uma torção relativa entre as laterais, por não haver um sistema de engrenamento de ambos os lados. Outro fato que provavelmente pode ter influenciado nos resultados são as características mecânicas dos materiais utilizados. Nas estruturas utilizadas nestes ensaios não foram cedidas as especificações dos materiais pelos fabricantes.

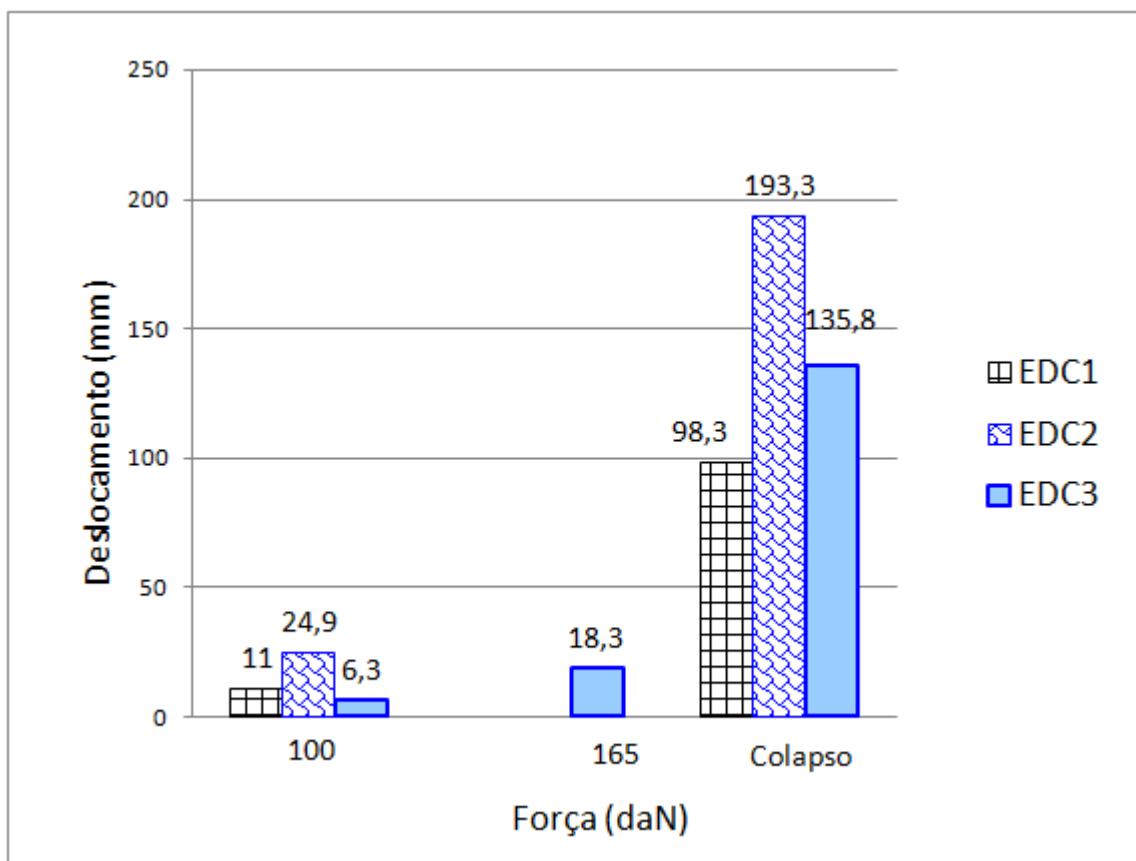


Figura 4.12 – Deslocamentos residuais – ensaio de cedimento da estrutura do encosto

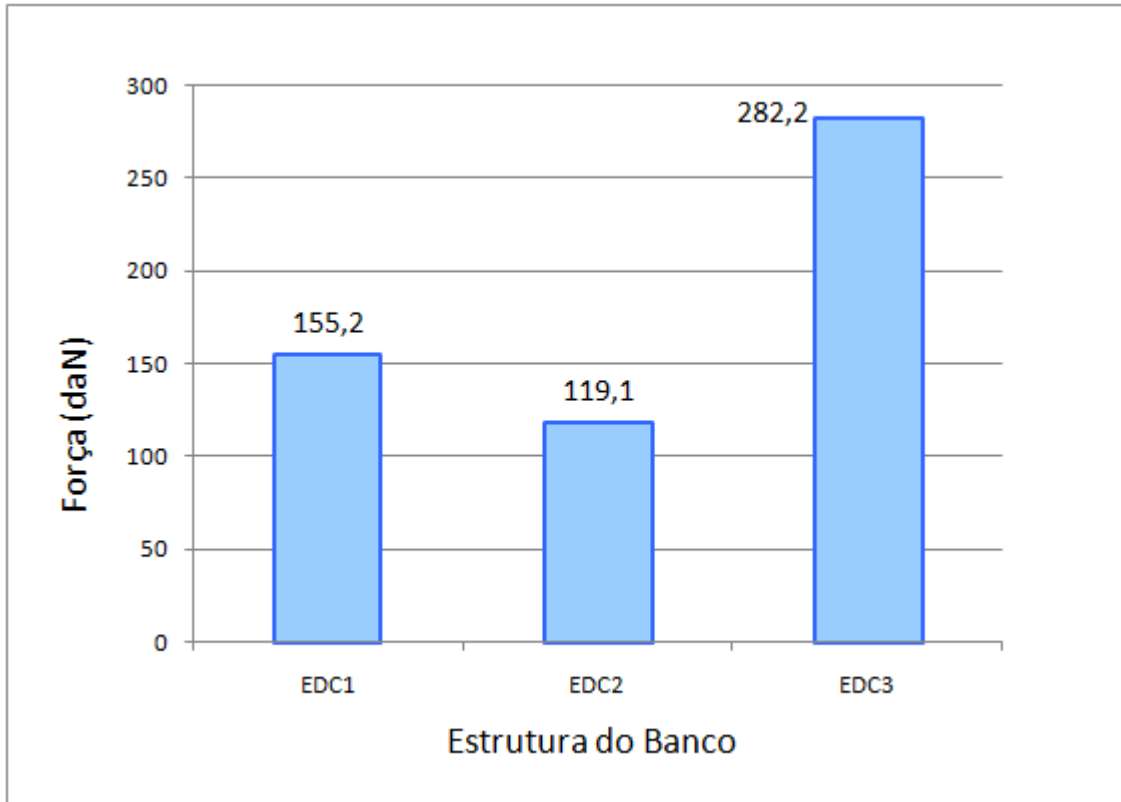


Figura 4.13 – Força de colapso – ensaio de cedimento da estrutura do encosto

4.2 Resultados experimentais finais

4.2.1 Ancoragem do ponto de fixação do cinto de segurança

No ensaio de ancoragem utilizou-se três diferentes modelos de estruturas, EDX1, EDX2 e EDX3. Conforme descrito na metodologia, foram ensaiadas três peças de cada modelo. A estrutura do banco EDX1 possui uma distância de aproximadamente 45 mm, entre o ponto de ancoragem do fecho do cinto de segurança com a ancoragem do trilho de deslizamento longitudinal do banco. As estruturas EDX2 e EDX3 possuem uma distância nesta região de aproximadamente 35 mm. A diferença entre EDX2 e EDX3, é que esta última possui regulador de altura.

Um resumo dos resultados obtidos de deslocamentos residuais, nas coordenadas X e Z, das amostras das estruturas EDX1, estão mostrados nas figuras 4.14 e 4.15, para as forças de 850 daN e 1750 daN, respectivamente.

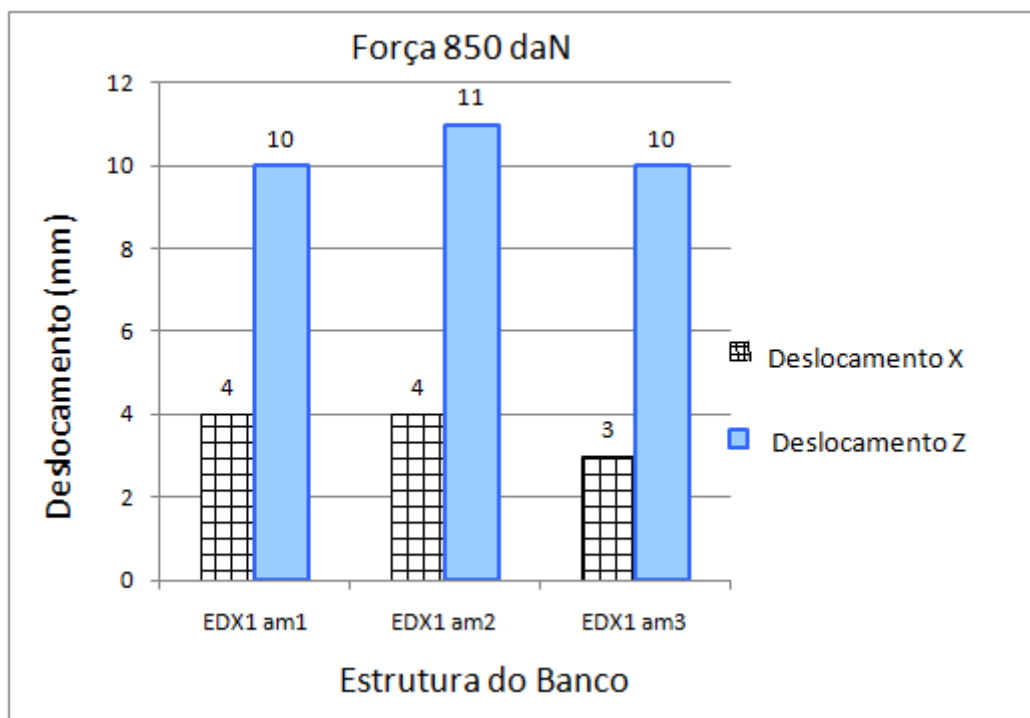


Figura 4.14 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX1-850 daN.

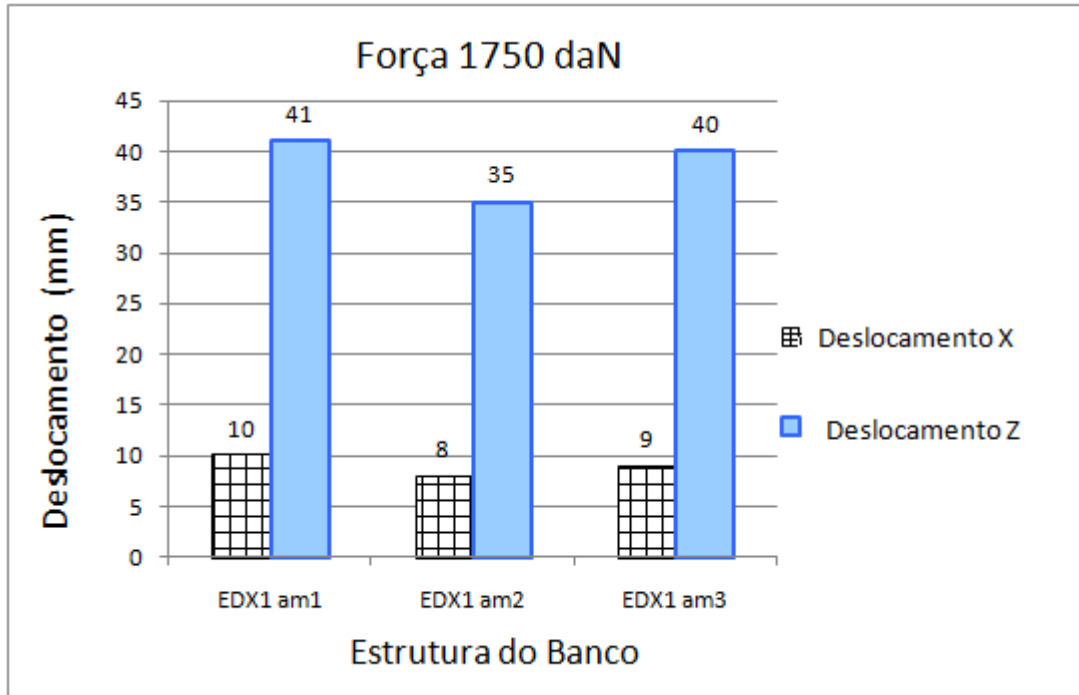


Figura 4.15 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX1-1750 daN.

As curvas de deslocamento das três amostras da estrutura EDX1 sob ação das forças 850 e 1750 daN estão mostradas na figura 4.16. Pode-se observar uma ótima repetibilidade dos ensaios, principalmente naqueles realizados com força aplicada até 850 daN,

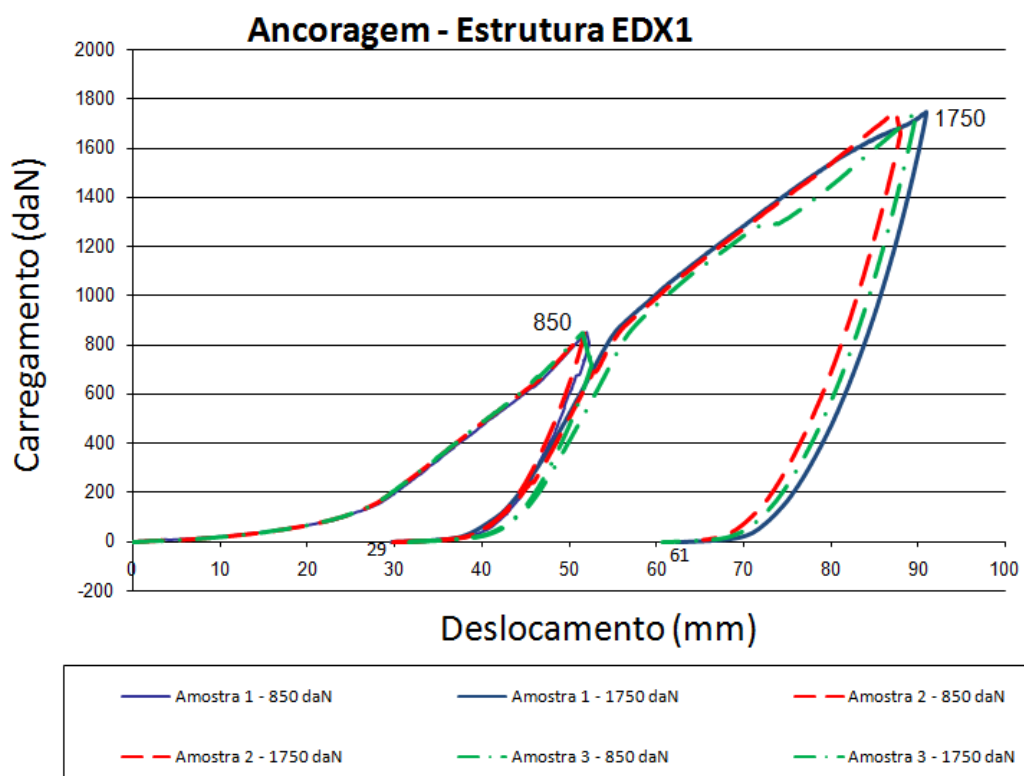


Figura 4.16 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura EDX1.

Para as estruturas EDX2 os deslocamentos residuais nas coordenadas X e Z estão mostrados nas figuras 4.17 e 4.18, para as forças de 850 daN e 1750 daN, respectivamente.

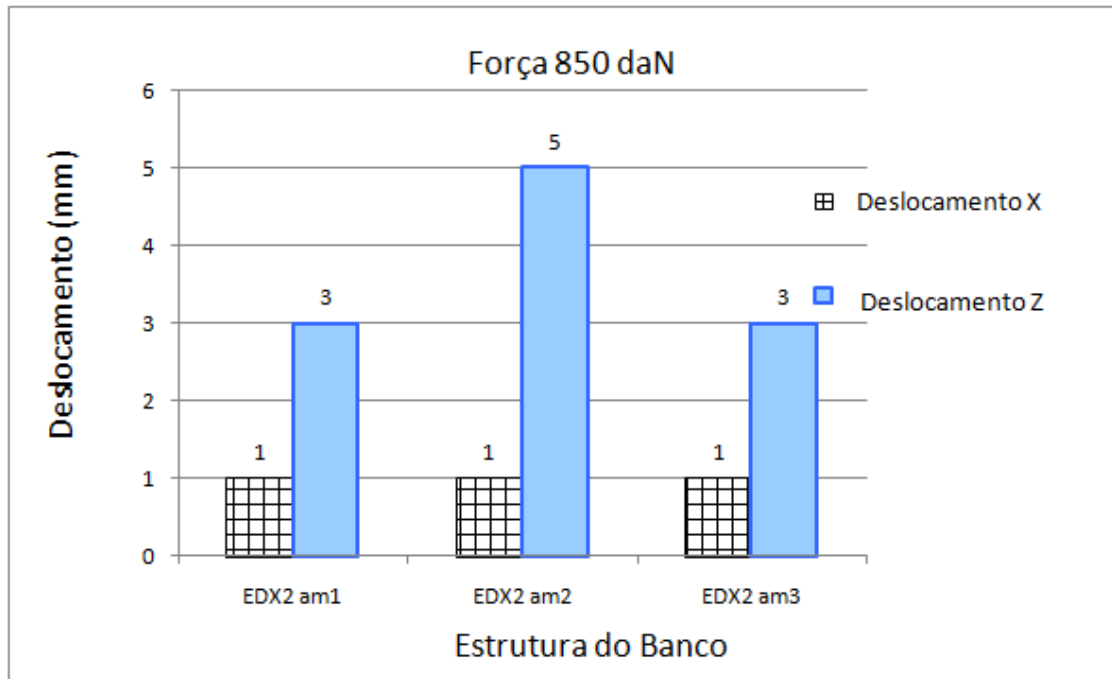


Figura 4.17 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX2-850 daN.

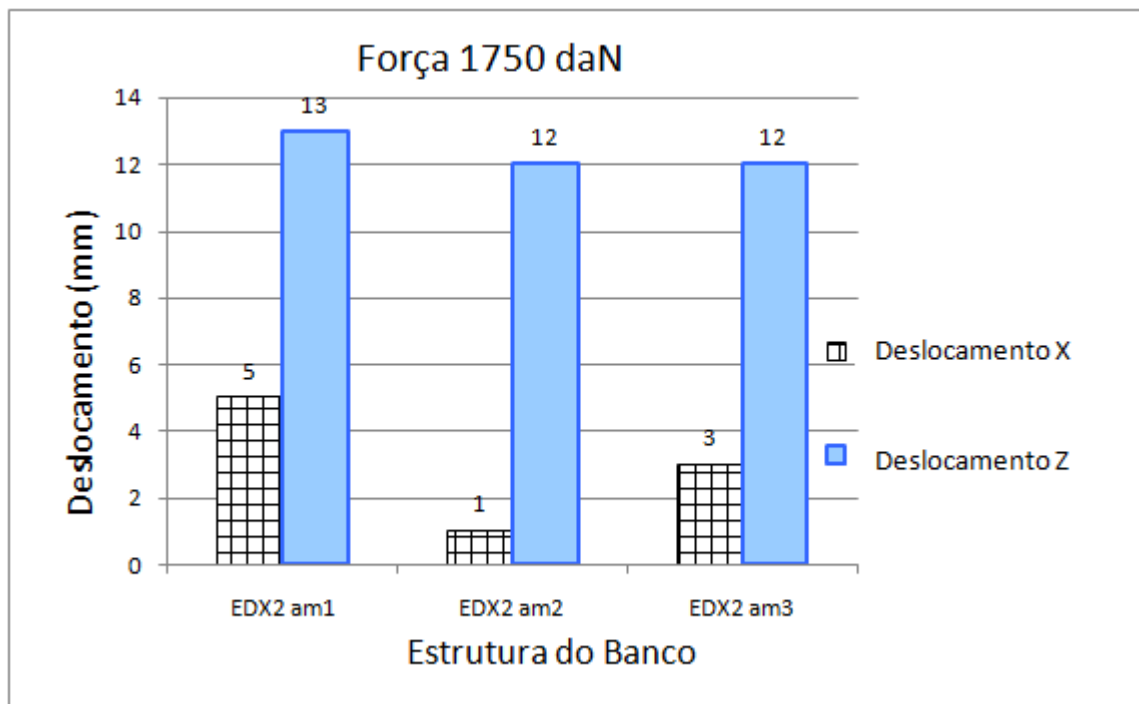


Figura 4.18 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX2-1750 daN.

A figura 4.19 mostra as curvas de deslocamentos das amostras da estrutura EDX2 sob ação das forças 850 e 1750 daN. A repetibilidade dos resultados também foi boa nestes ensaios.

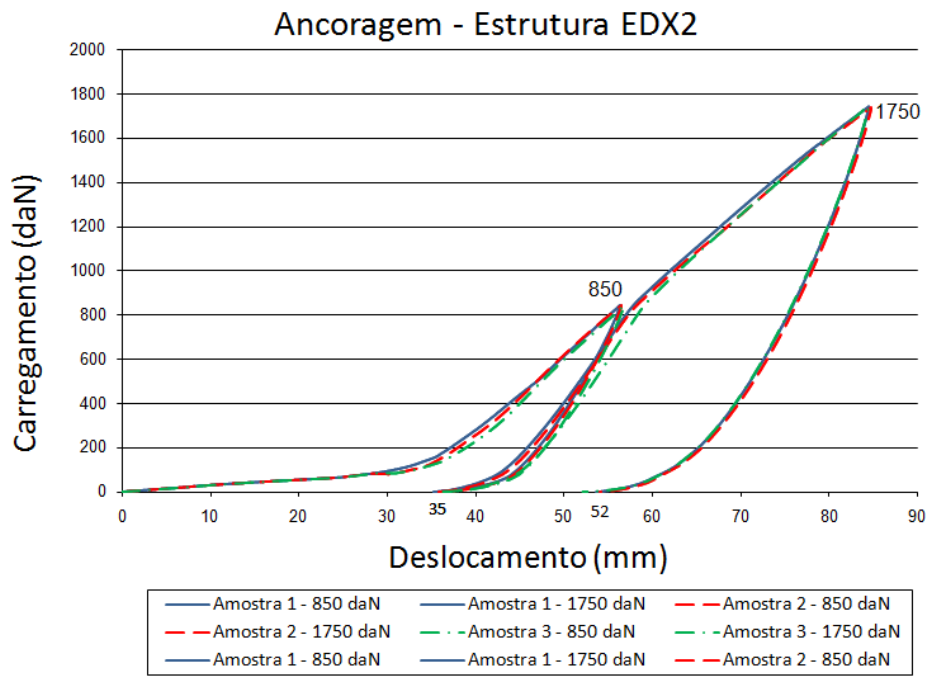


Figura 4.19 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura EDX2.

Para as estruturas EDX3 os deslocamentos residuais, nas coordenadas X e Z estão mostrados nas figuras 4.20 e 4.21, para as forças de 850 daN e 1750 daN, respectivamente.

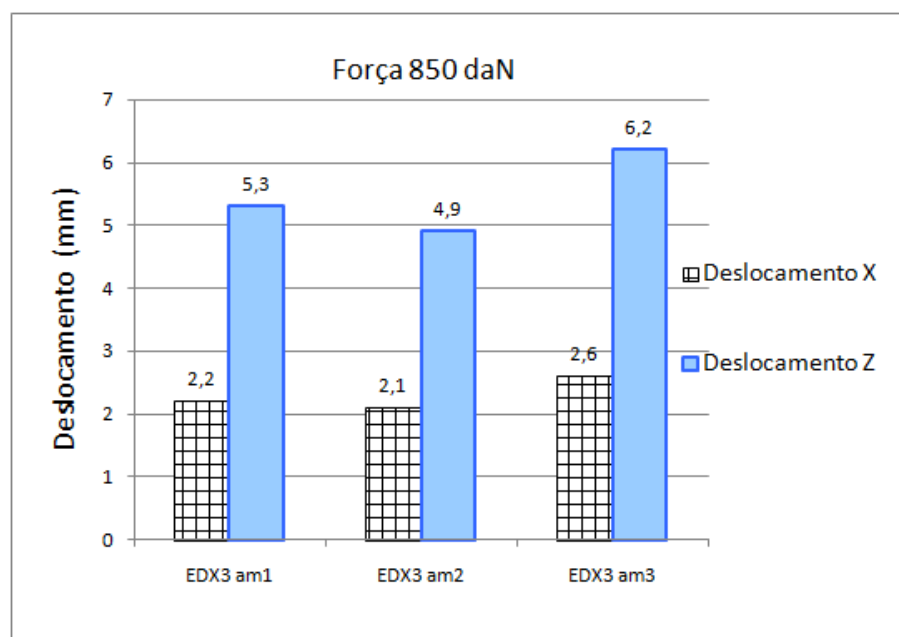


Figura 4.20 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX3-850 daN.

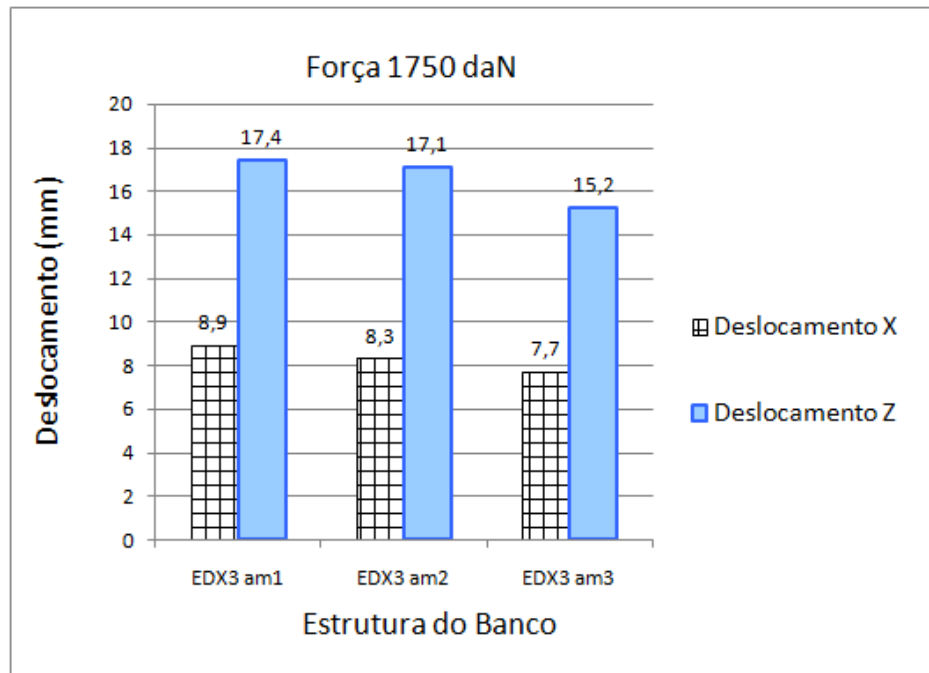


Figura 4.21 – Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura amostras EDX3-1750 daN.

As curvas de deslocamento das três amostras da estrutura EDX3 sob ação das forças 850 e 1750 daN estão mostradas na figura 4.22. Como nos casos anteriores, observou-se novamente uma boa repetibilidade entre os ensaios realizados.

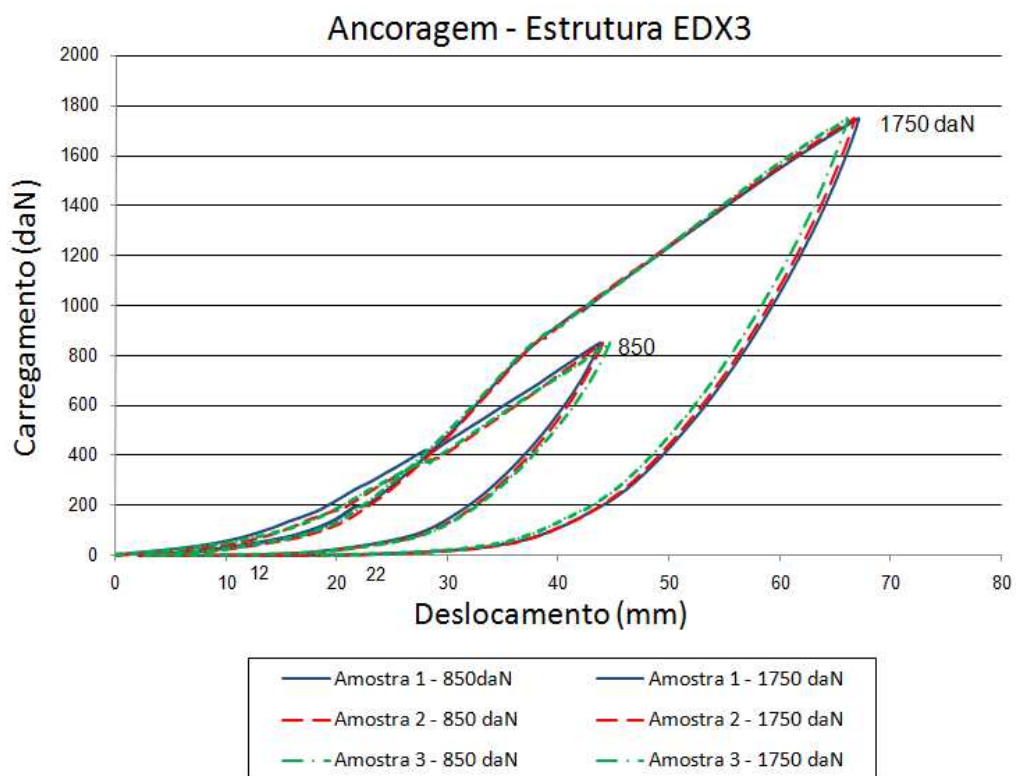


Figura 4.22 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de ancoragem da estrutura EDX3

Na tabela 4.1 estão mostrados os valores médios dos deslocamentos para todas as estruturas analisadas nos ensaios de ancoragem.

TABELA 4.1
Deslocamentos residuais médios – Ensaio preliminar de ancoragem do cinto nas estruturas

Tipo de estrutura	Ancoragem			
	850 daN		1750 daN	
	Deslocamentos (mm)			
	X	Z	X	Z
EDX1	3,7	10,3	9,0	38,7
EDX2	1,0	3,7	3,0	12,3
EDX3	2,3	5,5	8,3	16,6

Estes resultados vêm confirmar o esperado, ou seja, um menor deslocamento na estrutura EDX2. Esta estrutura possui uma menor distância transversal entre o ponto de ancoragem do fecho do cinto de segurança e o trilho de deslizamento longitudinal, logo possui um menor momento. Além disto, as propriedades mecânicas superiores dos materiais da estrutura EDX2 são maiores que os materiais aplicados na estrutura EDX1, provocando menor deslocamento. A estrutura EDX3 apresentou níveis de deslocamento superior à estrutura EDX2, isto se deve à própria configuração da estrutura com os componentes de articulação que promovem o movimento ascendente e descendente da estrutura.

No conceito de segurança e proteção aos ocupantes, o deslocamento dos pontos de ancoragem, seja a do cinto de segurança na estrutura do banco ou a do banco na carroceria do veículo, é de grande relevância em todas as categorias de veículo, seja nas categorias de veículos de passageiros, transporte de carga e máquinas de construção ou agricultura. Molari e Rondelli (2007) em uma avaliação da resistência da ancoragem em cintos constataram que nos resultados dos ensaios de ancoragem do cinto de segurança nas estruturas de bancos de tratores agrícola, grande parte das amostras testadas apresentou deflexões acima de 100 mm, o que não garante que o motorista permaneça efetivamente dentro do volume de sobrevivência. Nestes ensaios a força de aplicação foi de 4800 a 6200 N.

Segundo Molari e Rondelli (2007), os resultados de ensaios nos bancos de tratores agrícolas provaram que os cintos de segurança e as ancoragens dos cintos contribuíram com o nível de segurança. No entanto, é necessário haver uma integração dos testes considerando a

ancoragem dos cintos com a estrutura do banco para reter o motorista dentro do volume de sobrevivência.

4.2.2 Cedimento da estrutura do encosto

Na análise de cedimento do encosto da estrutura foram utilizados os mesmos modelos de estruturas anteriores, ou seja, EDX1, EDX2 e EDX3. Cada ensaio foi repetido três vezes.

Os resultados de deslocamentos obtidos nos ensaios realizados nas três amostras da estrutura EDX1 estão mostrados na figura 4.23. Uma boa reprodutibilidade dos ensaios foi verificada, como está mostrado nesta figura.

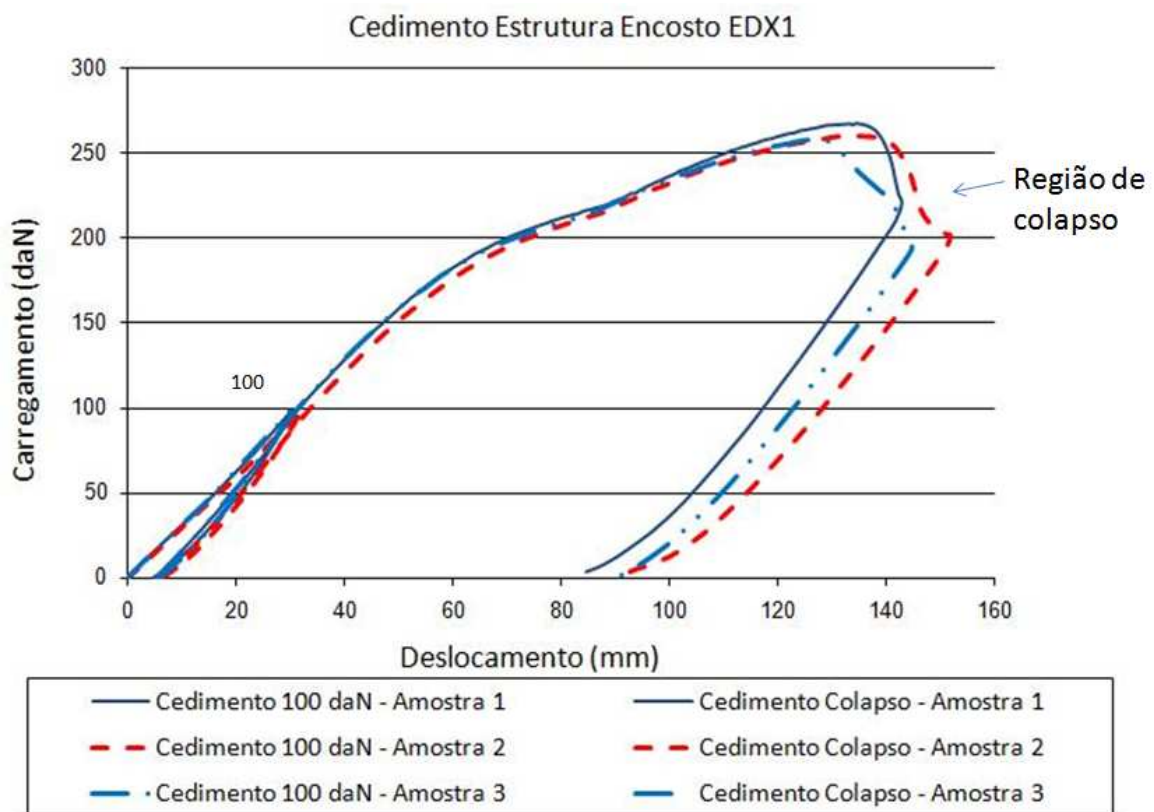


Figura 4.23 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura EDX1.

As cargas em que as três amostras da estrutura EDX1 atingiram o colapso estão mostradas na figura 4.24.

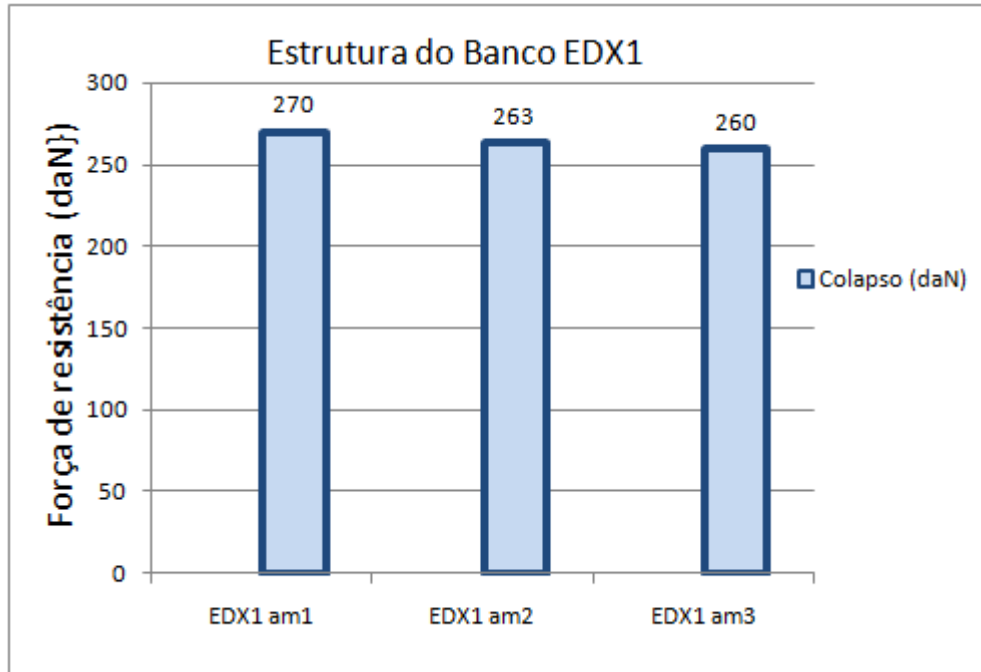


Figura 4.24 – Colapso – Ensaio de cedimento da estrutura amostras EDX1.

Os deslocamentos obtidos nos ensaios estáticos e as cargas de colapso das estruturas EDX2 estão mostradas nas figuras 4.25 e 4.26, respectivamente.

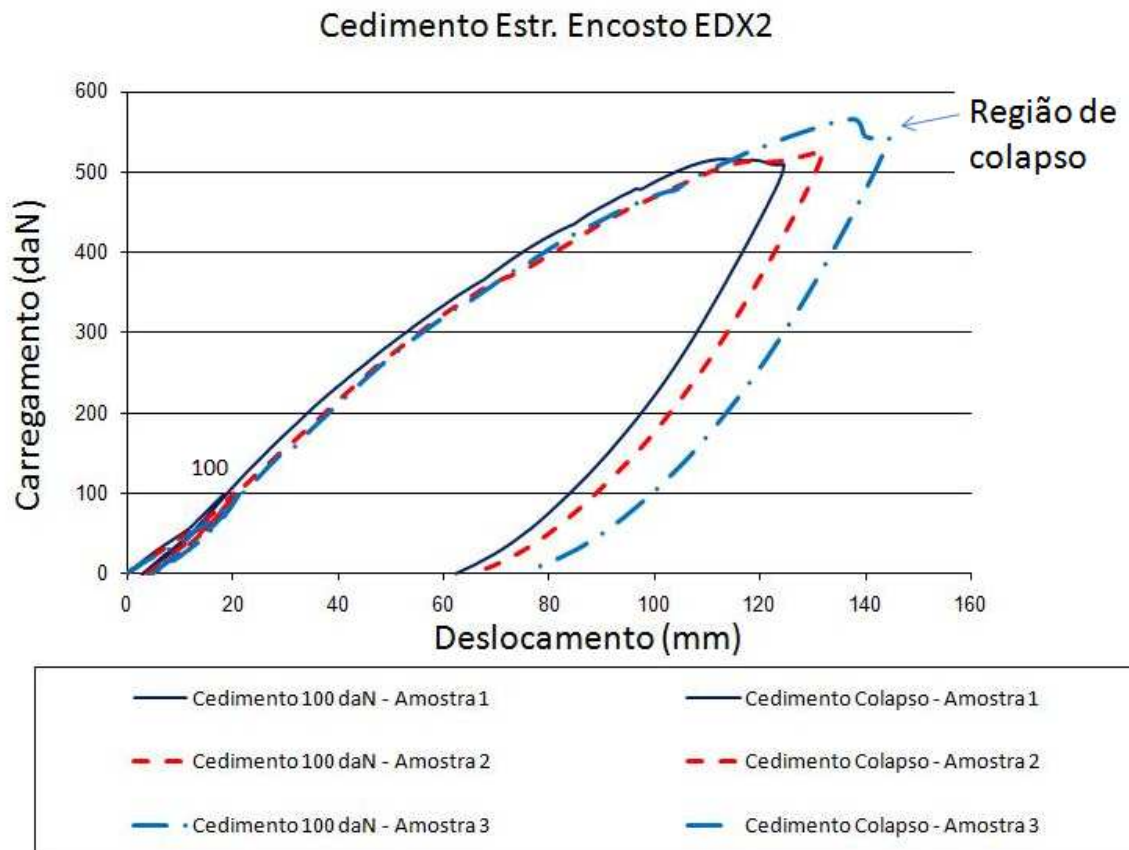


Figura 4.25 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura EDX2.

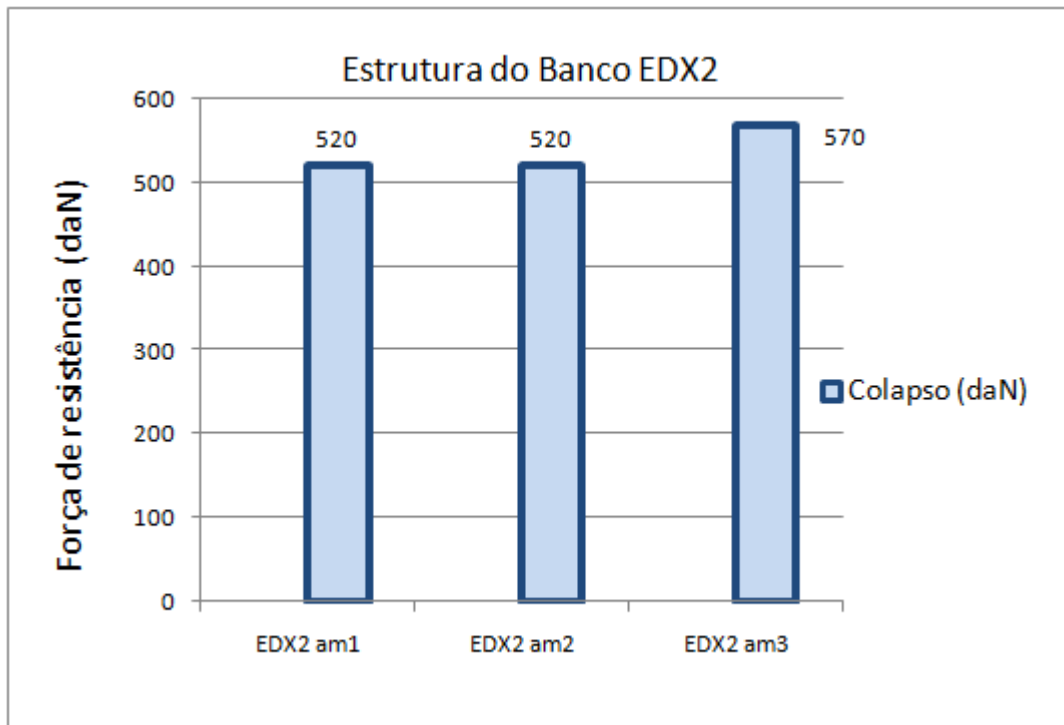


Figura 4.26 – Colapso – Ensaio de cedimento da estrutura amostras EDX2.

De maneira similar, os resultados dos ensaios estáticos e as cargas em que as estruturas EDX3 atingiram o colapso estão mostradas nas figuras 4.27 e 4.28, respectivamente.

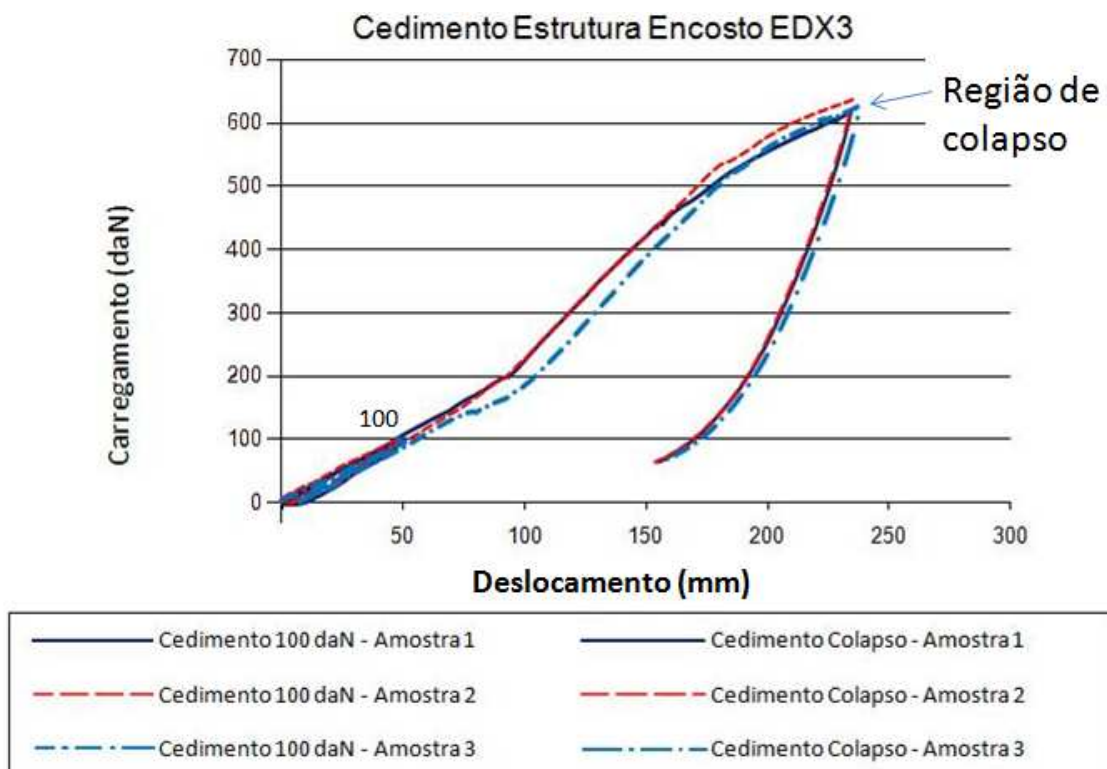


Figura 4.27 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento da estrutura EDX3.

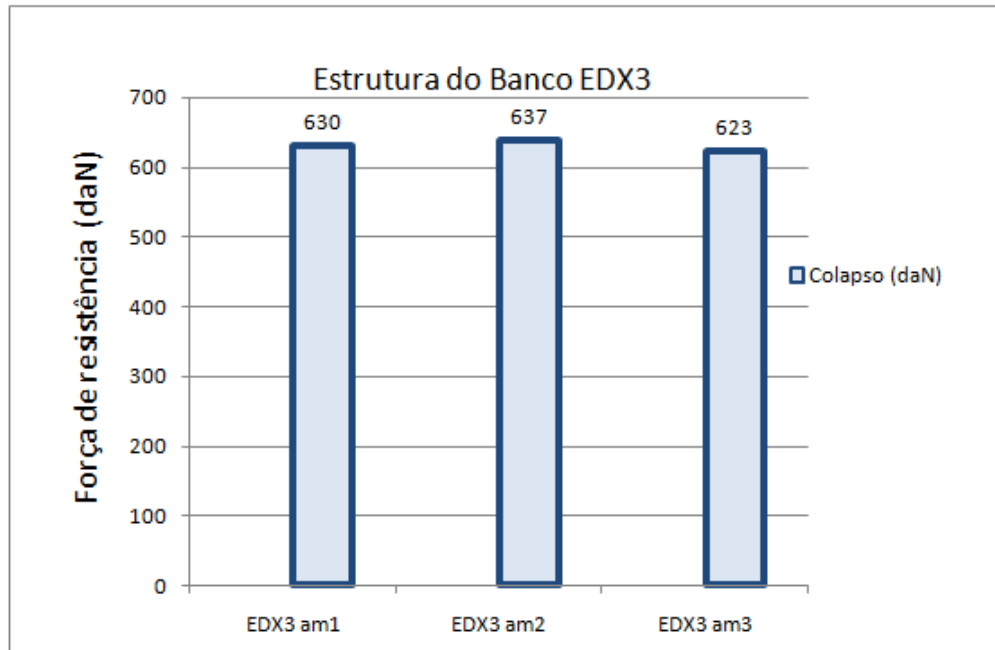


Figura 4.28 – Colapso – Ensaio de cedimento da estrutura EDX3.

Os resultados obtidos mostram uma grande reprodutibilidade entre os ensaios das três amostras de uma mesma estrutura. Além disto, na tabela 4.2 estão mostrados os valores dos deslocamentos residuais em cada estrutura para um carregamento de 100 daN.

TABELA 4.2
Deslocamentos residuais para carga de 100 daN

Tipo de estrutura	Deslocamento Residual (mm)			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Valor Médio
EDX1	5,0	6,0	6,0	5,7
EDX2	3,0	4,0	4,0	3,7
EDX3	3,0	4,0	4,0	3,7

Nestes ensaios de cedimento das estruturas dos encostos confirmam o esperado, ou seja, menores deslocamentos das estruturas EDX2 e EDX3, já que elas utilizam materiais com propriedades mecânicas superiores ao da estrutura EDX1. Outro fator de influência é a forma geométrica da estrutura e a espessura da chapa. As estruturas EDX2 e EDX3 possuem larguras das laterais e espessuras das chapas superiores ao da estrutura EDX1. Assim, as cargas de colapso desta estrutura EDX1 são inferiores ao das outras duas. Conseqüentemente,

os deslocamentos residuais da estrutura EDX1 são superiores ao das demais (EDX2 e EDX3). As estruturas EDX2 e EDX3 apresentam os mesmos valores de deslocamentos residuais para o carregamento de 100 daN. Os carregamentos até atingir o colapso das estruturas EDX2 foram interrompidos ao se atingir valores entre 500 a 600 daN, e pouco acima de 600 daN para a estrutura com regulagem de altura (EDX3). Isto se deve à aproximação do final de curso do atuador hidráulico.

4.2.3 Ensaio de cedimento simultâneo do encosto e apoio de cabeça.

Nas análises de cedimento simultâneo do apoio de cabeça e do encosto da estrutura foram utilizados os mesmos modelos de estruturas anteriores, ou seja, EDX1, EDX2 e EDX3. Além destas, foi também utilizado ainda um quarto tipo de estrutura nomeada de EDX4. Os ensaios foram realizados utilizando-se dois bancos de cada um dos modelos EDX1 e EDX3 e três bancos de cada um dos modelos EDX2 e EDX4, conforme descrito na metodologia.

Os resultados alcançados nos ensaios de cedimento simultâneo do encosto e do apoio de cabeça estão mostrados na figura 4.29. Na amostra 1 do banco EDX1, para atingir o momento de 37,3 daNm sobre o encosto com relação ao ponto “H”, foi aplicada uma força equivalente a 116,0 daN e para o momento de 54,0 daNm sobre o apoio de cabeça, foi aplicada uma força equivalente a 76,0 daN. Na carga máxima aplicada sobre o encosto, este atinge o deslocamento de 69,0 mm, ficando com um deslocamento residual de 37,0 mm. A carga máxima aplicada sobre o apoio de cabeça leva este em conjunto com o encosto a atingir o deslocamento de 114,0 mm, atingindo um deslocamento residual de 20,0 mm. A figura 4.29 mostra que o início do aumento de carga sobre o apoio de cabeça ocorre exatamente no momento em que a carga sobre o encosto atinge o valor máximo. Este gráfico aproxima-se da situação que ocorre no instante de colisão traseira no veículo. O tronco do usuário é arremessado sobre o encosto do banco e por uma dinâmica da biomecânica a cabeça atinge o apoio de cabeça instantes depois do tronco atingir o encosto. O carregamento sobre o apoio de cabeça aumentará gradualmente na medida em que o tronco se afasta do encosto.

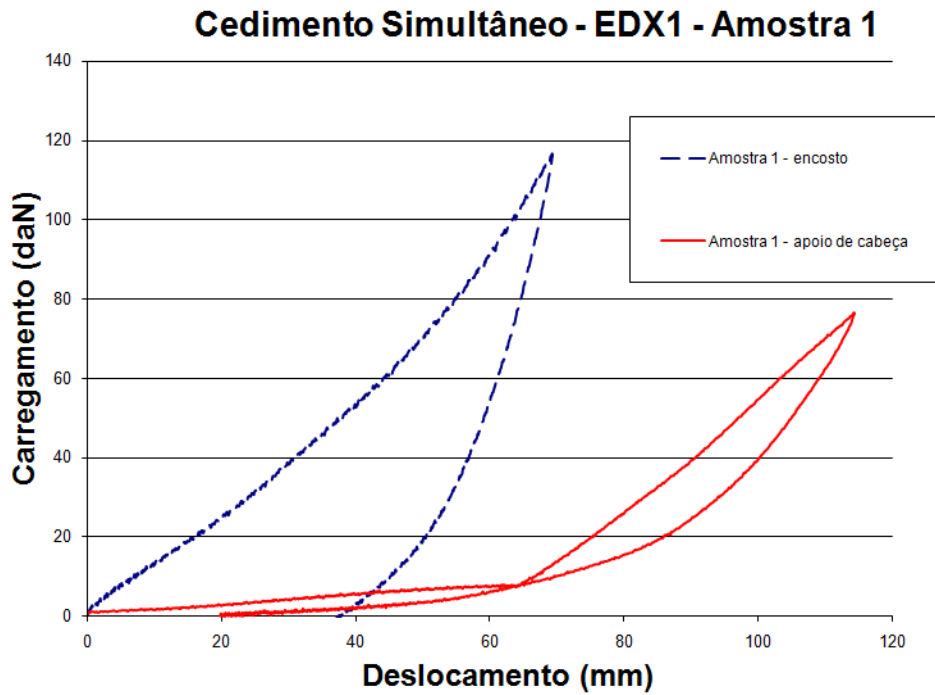


Figura 4.29 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo EDX1 – amostra 1.

Como mostrado na figura 4.30 os resultados obtidos no ensaio de cedimento simultâneo na amostra 2 da estrutura EDX1 são similares aos valores da amostra 1

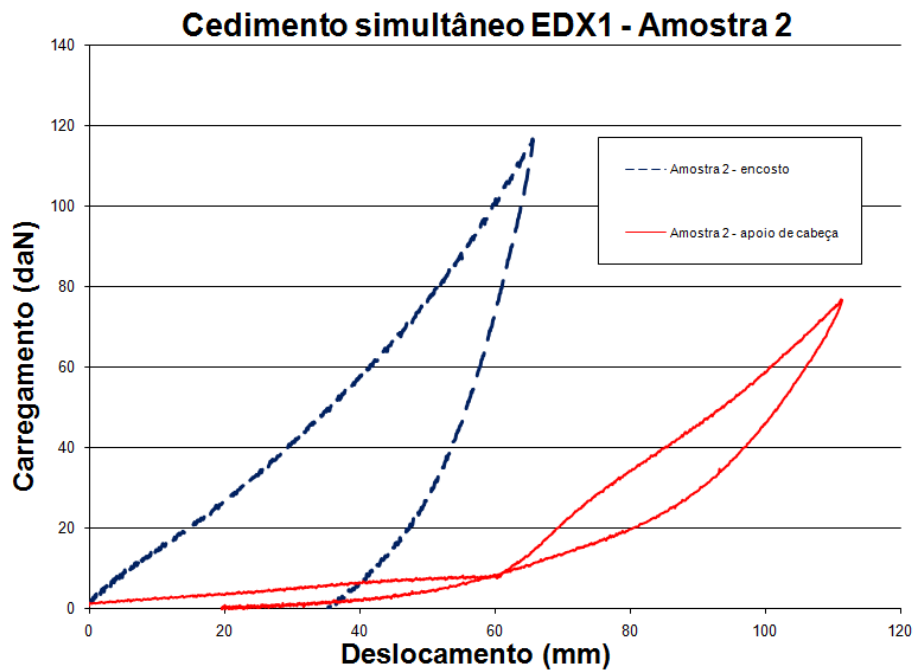


Figura 4.30 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo EDX1 – amostra 2.

Em resumo, os resultados dos deslocamentos obtidos nos ensaios das duas amostras do banco EDX 1 são mostrados na figura 4.31.

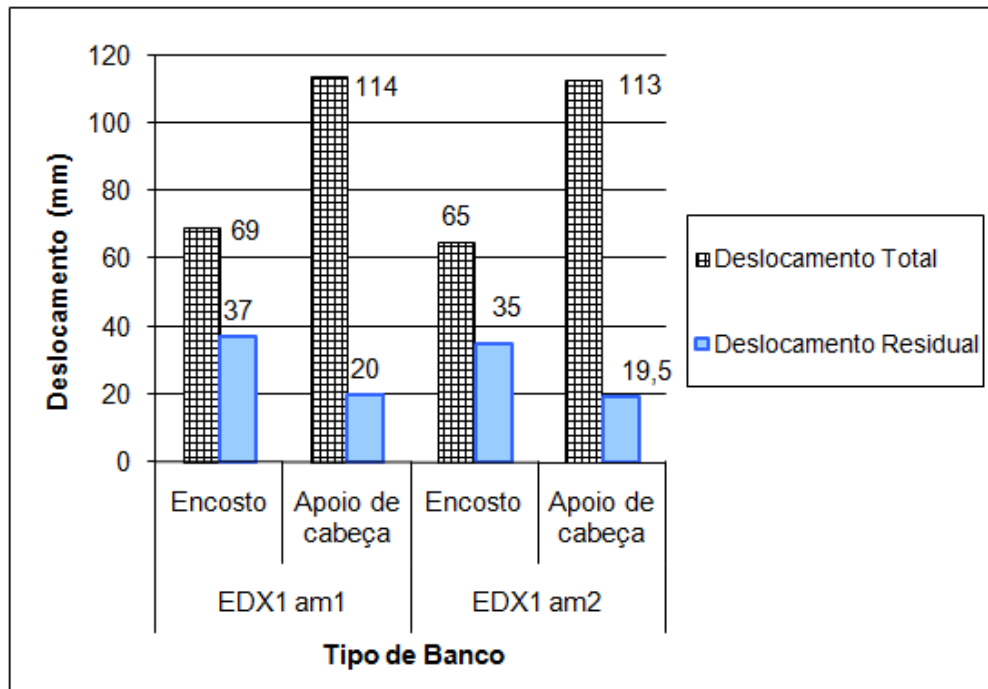


Figura 4.31 – Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo banco EDX1.

Nos bancos nomeados de EDX2 os valores de carregamento foram similares aos resultados obtidos nos bancos EDX1. Para-se atingir os momentos de 37,3 daNm sobre o encosto e de 54,0 daNm sobre o apoio de cabeça. Os valores dos deslocamentos obtidos nas amostras de bancos EDX2 estão mostradas na figura 4.32.

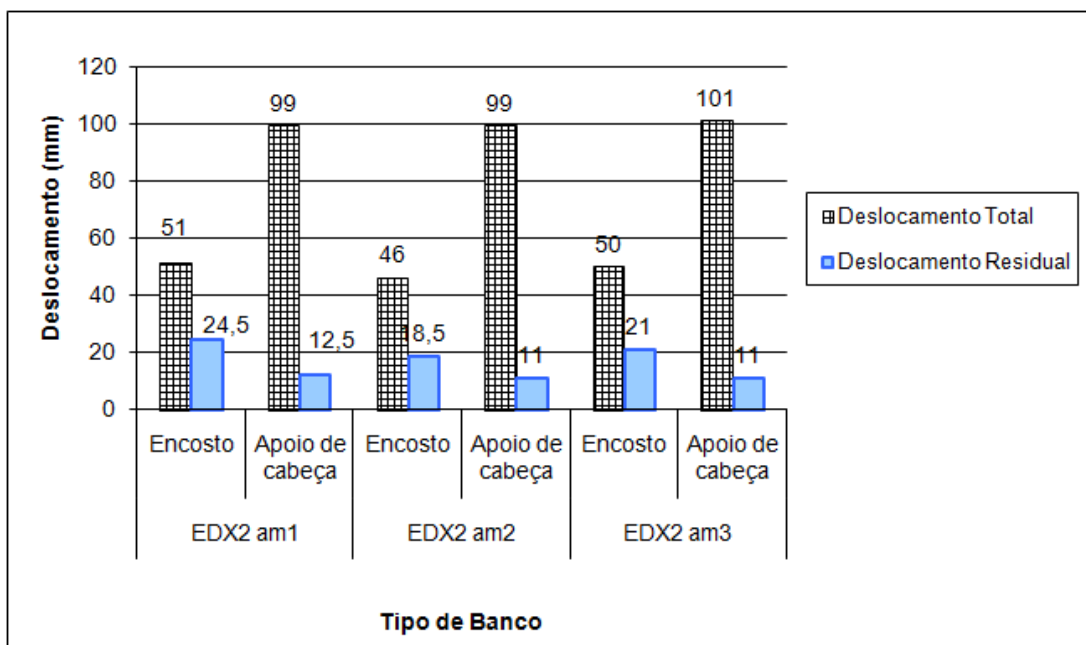


Figura 4.32 – Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo banco EDX2.

Duas amostras dos bancos EDX3 também foram testadas. Na figura 4.33 estão mostradas as curvas de deslocamento da primeira amostra. Os resultados obtidos são similares aos demais apresentados.

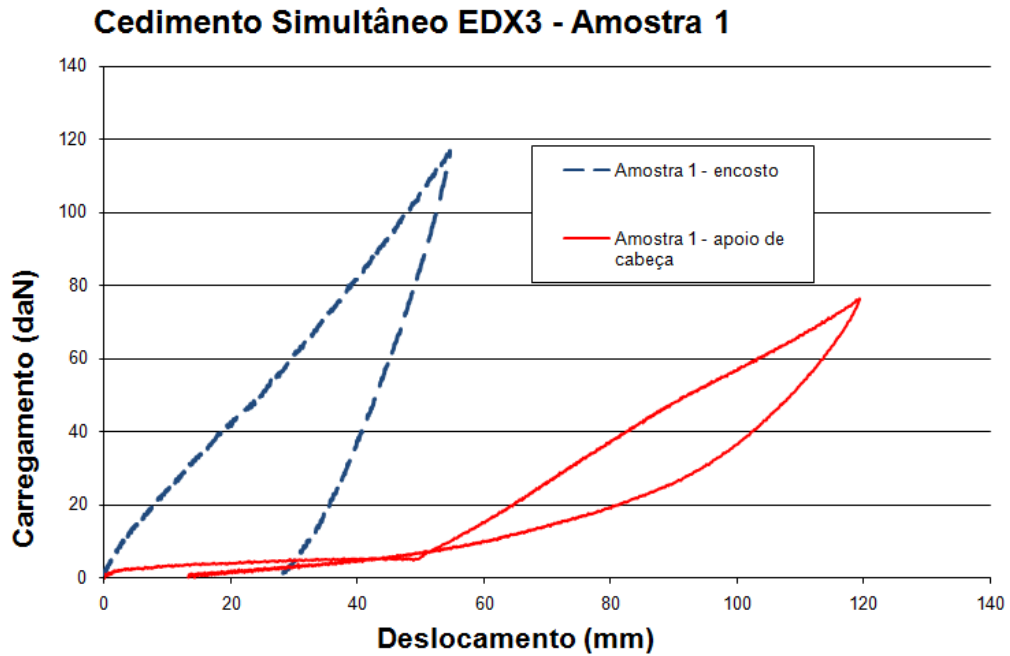


Figura 4.33 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo EDX3 – amostra 1.

Os valores de deslocamentos das amostras 1 e 2 dos bancos EDX3 estão mostrados na figura 4.34.

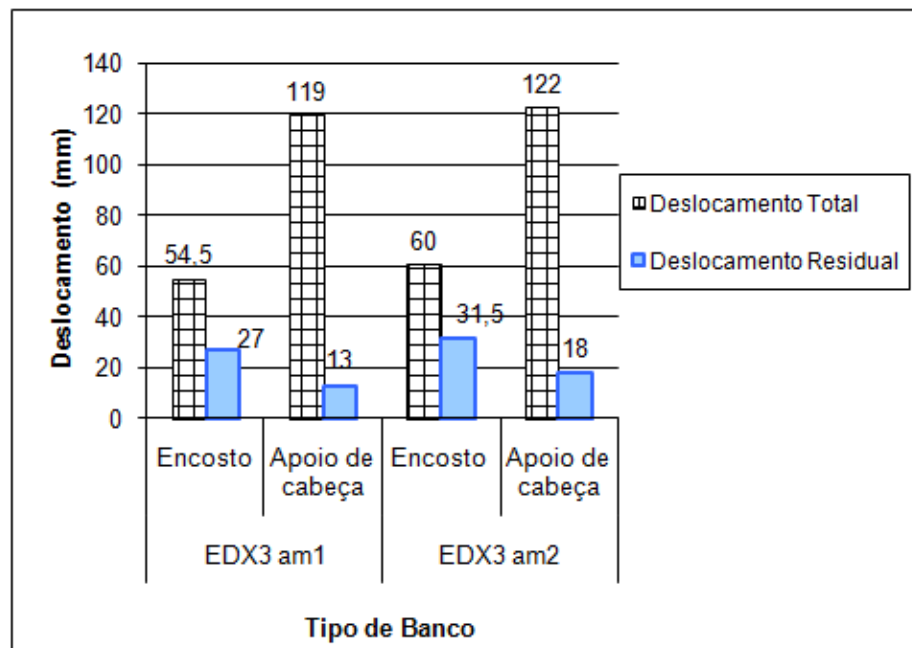


Figura 4.34 – Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo banco EDX3.

Para os bancos EDX4 os valores de carregamento também não foram diferentes daqueles dos bancos EDX1. Para-se atingir os momentos de 37,3 daNm sobre o encosto e de 54,0 daNm sobre o apoio de cabeça. As curvas dos deslocamentos obtidas na amostra 1 do banco EDX4 esta representada na figura 4.35.

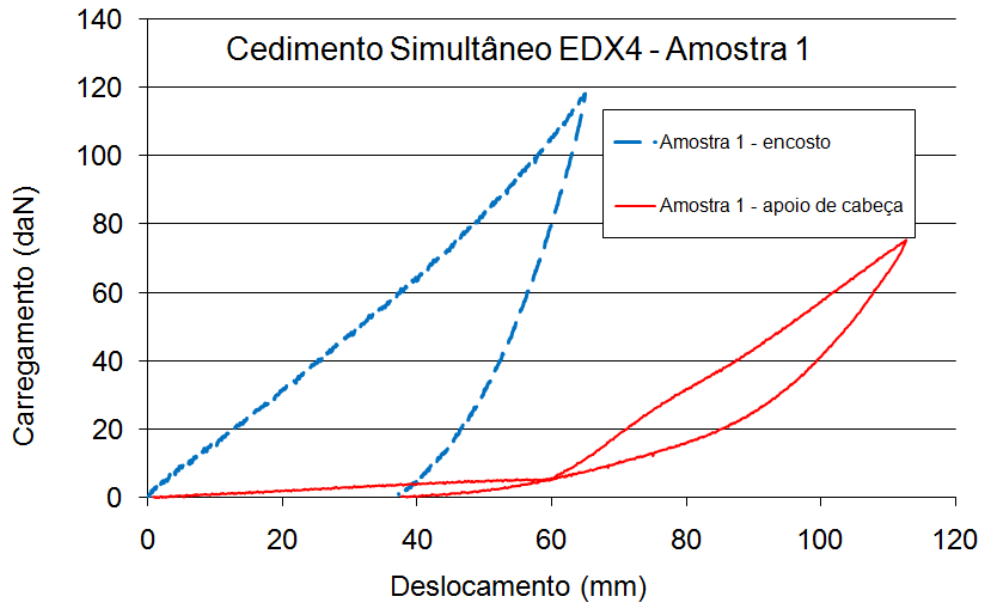


Figura 4.35 – Carregamento X Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo EDX4 – amostra 1.

Como dito anteriormente, foram ensaiadas três amostras do banco EDX4. A figura 4.36 apresenta um resumo dos valores dos deslocamentos.

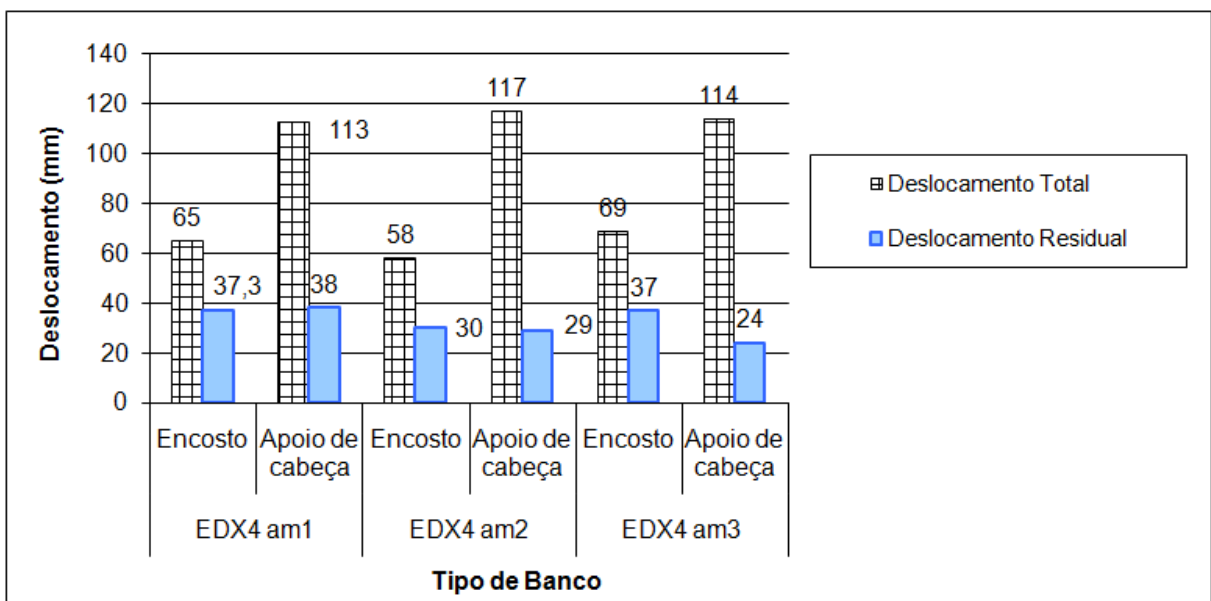


Figura 4.36 – Deslocamento – Ensaio de cedimento simultâneo banco EDX4

4.3 Análise final dos resultados.

Para se obter o melhor desempenho do conjunto banco, deve-se projetar e garantir que o ocupante sentado sobre o banco tenha grande parte da extensão de sua coluna apoiada no encosto.

Em um banco de passageiros é desejável que o seu projeto tenha uma grande rigidez na ancoragem dos pontos de fixação do cinto de segurança na sua estrutura. Deslocamentos elevados podem contribuir para um movimento excessivo do quadril dos ocupantes e desta forma o nível de lesões pode se agravar.

Na tabela 4.3 são mostrados os resultados médios dos deslocamentos residuais obtidos nos ensaios de ancoragem dos bancos.

TABELA 4.3
Deslocamentos residuais médios – Ensaios de ancoragem do cinto nas estruturas - Final

Tipo de estrutura	Ancoragem			
	850 daN		1750 daN	
	Deslocamentos (mm)			
	X	Z	X	Z
EDX1	3,67	10,33	9,00	38,67
EDX2	1,00	3,67	3,00	12,33
EDX3	2,30	5,47	8,30	16,57

Analisando os resultados médios apresentados na tabela 4.3, o melhor desempenho com o menor índice de deslocamento tanto no carregamento de 850 daN quanto no carregamento de 1750 daN foi a estrutura do banco EDX2. A estrutura EDX3 apresentou valores superiores de deslocamento permanente que a estrutura EDX2 devido aos componentes de articulação do módulo da estrutura do assento, que promovem a regulagem da altura.

Os valores obtidos nestes ensaios constituem-se uma referência para o desenvolvimento de novos projetos estruturais de bancos. Assim, para o carregamento de 850 daN, o deslocamento residual na coordenada X poderá ser aceitável para um valor menor ou igual a 10 mm e na coordenada Z um valor menor ou igual a 10 mm, pois estes valores são considerados bons para a retenção dos ocupantes. Para o carregamento de 1750 daN, os valores de deslocamentos residuais deverão ter valores menores ou iguais a 10 mm na coordenada X e valores menores ou iguais a 20 mm na coordenada Z. Certamente nos novos desenvolvimentos de bancos estas condições de deslocamento deverão ser verificadas tanto no projeto quanto nos ensaios de segurança. Além de projetar seguindo as normas e requisitos

legislativos, é garantir que para as variações antropométricas dos usuários, os dois pontos inferiores (dois pontos na estrutura do banco ou um ponto na estrutura do banco e um ponto na coluna da carroceria) de ancoragem do cinto permita que a projeção do cadorço esteja sempre na região sub-abdominal dos ocupantes.

O módulo da estrutura de um encosto de um banco é muito solicitado nas situações de colisão traseira de um veículo e por isso é um importante item na retenção dos ocupantes. Os valores médios dos deslocamentos obtidos nos ensaios de cedimento das estruturas de encostos dos bancos estão mostrados na TABELA 4.4. Nesta tabela também estão mostradas as forças necessárias ao colapso das estruturas.

TABELA 4.4
Deslocamentos residuais médios – Ensaios de cedimento das estruturas e força de colapso

Tipo de estrutura	Cedimento	
	100 daN	Colapso
	Deslocamento X (mm)	Força (daN)
EDX1	5,7	264,3
EDX2	3,7	536,7
EDX3	3,7	630,0

O desempenho das estruturas EDX2 e EDX3 foram superiores à EDX1, apresentando menor grau de deslocamento e com maior resistência ao colapso da estrutura. Considerando os valores dos deslocamentos encontradas nas amostras, observa-se pequenas variações entre elas. Pode-se considerar então como uma referência para os novos projetos, que o deslocamento não supere a 4,0 mm para o carregamento de 100 daN. No caso das cargas de colapso não serão considerados valores de referência, visto que os cursos dos atuadores alcançaram os limites sem que as estruturas EDX2 e EDX3 entrassem na condição de colapso. A única estrutura que atingiu o colapso foi a EDX1. Assim, não deve ser considerado como referência o valor de colapso alcançado pela estrutura EDX1 (264,3 daN), já que as estruturas EDX2 e EDX3 alcançaram valores superiores a 500 daN.

O conjunto encosto e apoio de cabeça exercem uma importante função no sistema de retenção dos passageiros e condutores em um veículo. Durante uma colisão, o posicionamento correto destes, aliado a uma boa resistência estrutural, permitirá uma boa proteção na coluna cervical dos ocupantes, reduzindo o nível de lesões.

Nos ensaios de cedimentos simultâneos do apoio de cabeça e do encosto realizado em dez bancos completos foram analisados os valores de deslocamento total e deslocamento residual. Os valores médios destes deslocamentos são apresentados na tabela 4.5.

TABELA 4.5
Deslocamento médio – Ensaio de cedimento simultâneo

Tipo de banco	Componente do banco	Deslocamento (mm)	
		Total	Residual
EDX1	Encosto	67,0	36,0
	Apoio de cabeça	112,5	19,8
EDX2	Encosto	49,0	21,3
	Apoio de cabeça	99,7	11,5
EDX3	Encosto	57,3	29,3
	Apoio de cabeça	120,5	15,5
EDX4	Encosto	64,0	34,7
	Apoio de cabeça	114,7	30,3

Os níveis dos deslocamentos nos encostos e nos apoios de cabeça atingem valores médios da ordem de 49 a 67 mm e de 99,7 a 120,5 mm respectivamente. Pelas propriedades mecânicas e forma da estrutura, o banco modelo EDX2 foi o que apresentou o melhor desempenho, ou seja, o menor índice de deslocamento. Uma análise do banco EDX3, mostra a tabela 4.5 que ocorre um acréscimo da deflexão do encosto, atingindo uma média de 57,3 mm. No apoio de cabeça este aumento chega a uma média de 120,5 mm. Pelos resultados encontrados e pelas características das estruturas, o modelo EDX3, que difere do banco EDX2 pelo sistema de regulagem de altura, pode ser considerado como referência para um bom desempenho do banco nas solicitações impostas pela colisão traseira. Os valores de referência deverão ser: deslocamento total do encosto com faixa de deslocamento compreendida de 45 a 60 mm; deslocamento residual do encosto de 18,5 a 31,5 mm; deslocamento total do conjunto apoio de cabeça de 99 a 122 mm e o deslocamento residual do apoio de cabeça de 11 a 18,5 mm. Valores superiores a estes, requer uma avaliação mais profunda dos efeitos que podem ocorrer sobre os ocupantes. Esta consideração deve-se ao fato que o banco EDX2 foi o que apresentou melhores desempenhos nos ensaios de segurança e proteção dos ocupantes. Os testes e nomes dos projetos aqui não são citados por solicitação do fabricante. Outra consideração que se pode fazer é que a cabeça do ocupante esteja com uma distância do elemento de retenção (apoio de cabeça) não superior a 50 mm e que este mesmo elemento de retenção não fique a uma distância vertical abaixo do topo da cabeça com cota superior a 65 mm.

5 CONCLUSÕES

Após o desenvolvimento deste trabalho, pode-se concluir que a utilização de aços com alta resistência nos projetos de estrutura de bancos mostrou-se bastante promissora nos resultados obtidos, alcançando-se um desempenho bastante considerável. A influência da forma geométrica da estrutura também contribuiu para elevar o índice de desempenho.

Os três ensaios realizados não são suficientes para uma consideração elevada quanto à segurança e proteção aos ocupantes. Outros parâmetros são analisados no desenvolvimento completo do veículo como, por exemplo, a deformação programada da carroceria para alta absorção de energia, e os próprios sistemas de proteção aos ocupantes como: *air bags* e cintos de segurança. No entanto, os parâmetros alcançados nestes três ensaios são consideráveis para que uma estrutura de banco ofereça um bom índice de desempenho na proteção dos usuários. A análise da ancoragem do cinto na estrutura do banco certifica que o nível de deslocamento avante dos ocupantes não atinja valores elevados. Finalmente o cedimento de encosto e apoio de cabeça devem ser limitados para prevenir os usuários de lesões com gravidade elevada na coluna cervical.

Após a análise dos resultados experimentais, vários parâmetros para novos projetos estruturais de bancos foram estabelecidos. Desta forma, as seguintes conclusões foram obtidas:

- 1) A ancoragem do cinto de segurança na estrutura do banco deve apresentar valores de deslocamentos inferiores a 10 mm na direção X e 10 mm na direção Z para cargas de 850 daN. No caso de cargas de 1750 daN, estes deslocamentos devem ser inferiores a 10 mm na direção X e 20 mm na direção Z.
- 2) Os valores de deslocamentos residuais das estruturas de encostos de bancos devem apresentar valores inferiores a 4,0 mm, quando submetido à forças de 100 daN.
- 3) As cargas de colapso são bons indicadores de resistência de estrutura de bancos. No entanto, a sua importância reside na comparação de estruturas distintas e não serve de parâmetro de projeto.
- 4) Os deslocamentos residuais dos encostos devem estar compreendidos entre 18,5 e 31,5mm e entre 11 a 18,5 mm para o apoio de cabeça. O deslocamento total do encosto do conjunto deve estar compreendido entre 99 e 122 mm.

De uma forma geral, além de indicar os índices de deformação da estrutura para novos projetos, este trabalho cita algumas recomendações de acomodação e retenção dos ocupantes para atingir o desempenho pretendido.

Sugestões para trabalhos futuros.

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível verificar a existência e avanço no desenvolvimento de novos materiais. A continuação deste estudo é essencial para entender a influência destes materiais aliada à forma da estrutura. Este estudo poderá resultar em estruturas leves e com custos otimizados. Neste caso, o uso de elementos finitos numa análise virtual, ajudará a verificar esta influência geométrica da estrutura. Assim, será possível analisar diferentes formas e obter uma estrutura com melhor desempenho com menor consumo de material dentro dos limites de resistência que se deseja atingir.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ERGONOMIA. O que é ergonomia?

Disponível em: <<http://www.abergo.org.br/oqueeergonomia.htm>> Acesso em 07 março 2009.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) – **Norma NBR 5915: Bobinas e chapas finas a frio de aço-carbono para estampagem – Especificação.** 2008.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) – **Norma NBR 6055: planos, linhas e pontos de referência para o posicionamento de ocupantes em veículos rodoviários.** Rio de Janeiro, 1989.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) – **Norma NBR 6059: emprego do dispositivo tridimensional para o posicionamento de ocupantes em veículos rodoviários.** Rio de Janeiro, 1989.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) – **Norma NBR 6068: pesos e dimensões de adultos para uso em veículos rodoviários.** Rio de Janeiro, 1979

AUTOLIV Anti-sliding bag, 2002.

Disponível em: <<http://feed.ne.cision.com/wpyfs/00/00/00/00/00/02/F9/30/wkr0002.pdf>>

Acesso em: 14 março 2009.

AUTOLIV Anti-whiplash seat, 2009.

Disponível em: <http://www.autoliv.com/wps/wcm/connect/autoliv/Home/What+We+Do/Anti-Whiplash%20Seat>

Acesso em: 14 março 2009.

BRASIL, Decreto **Lei nº 72-2000** de 06/05/2000 – Regulamento da homologação de automóveis – Anexo II – Definição das categorias e modelos de veículos. **Diário da República nº 105 Série I Parte A de 06/05/2000.**

CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO Resolução nº 220. Estabelece requisitos para ensaios de resistência e ancoragem dos bancos e apoios de cabeça nos veículos. De **11/01/2007.**

CROFT Arthur C.; PHILIPPENS Mathieu M.G.M.. The RID2 biofidelic rear impact dummy: A pilot study using human subjects in low speed rear impact full scale crash tests. **Accident Analysis & Prevention** 39, p.30 -346, (2007).

DEHNER, Christoph , SCHICK Sylvia, ARAND Markus, ELBEL Martin, HELL Wolfram, KRAMER Michael. Influence of anthropometry on the kinematics of the cervical spine and the risk of injury in sled tests in female volunteers. **Accident Analysis & Prevention**, 40 p. 1305-1312, (2008).

ECE (Economic Commission for Europe). Regulamento **R14.** Ancoragem Cinto de segurança.

ECE (Economic Commission for Europe). Regulamento **R17.** Ancoragem dos bancos, apoio de cabeça e intrusão de bagagem. Rev. 4, de 31/07/2002.

ECE (Economic Commission for Europe). Regulamento **R21**. Absorção de energia do encosto do banco e do apoio de cabeça. Rev. 2, de 16/10/1995.

ECE (Economic Commission for Europe). Regulamento **R25**. Absorção de energia do apoio de cabeça. Rev. 2, de 09/10/1992.

ECE (Economic Commission for Europe). Regulamento **R44**. Retenção para crianças. Rev. 1.

ECE (Economic Commission for Europe). Regulamento **R94**. Colisão frontal.

ECE (Economic Commission for Europe). Regulamento **R95**. Colisão lateral. Rev. 1, de 21/02/2005.

IIDA, Itiro. Antropometria: medidas. In: IIDA, Itiro. Ergonomia projeto e produção. São Paulo: Edgard Blücher, 2005, p.98 a 100).

FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) N° **202** Retenção da cabeça para passageiros de veículos – Dez. 2000

FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) N° **208** Proteção aos ocupantes nas colisões – Jan. 1991

FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) N° **301** Proteção aos ocupantes nas colisões – Jan. 1977

HENSHAW, J.M.;WOOD, V.; HALL, A.C.. Failure of automobile seat belts caused by polymer degradation. **Engineering Failure Analysis**. Vol. 6 p.13-25 (1999)

HEYES, A.M..Automotive Component Failures. **Engineering Failure Analysis**. Vol. 5 p.129-141. 1998

JAKOBSSON , Lotta; LUNDELL, Björn; NORIN, Hans; ISAKSSON-HELLMAN Irene. WHIPS – Volvo’s whiplash protection study. **Accident Analysis & Prevention**, 32 p. 307-319, 2000.

JOHNSON CONTROLS Comfort cools

Disponível em: <http://findarticles.com/p/articles/mi_m3012/is_8_180/ai_64341804>

Acesso em 14 março 2009

JOHNSON CONTROLS Comfort Renews

Disponível em: <www.prnewswire.com.au/cgi-bin/stories.pl?ACCT=104&STORY=/www/story/06-13-2000/0001242234&EDATE=>

Acesso em 14 março 2009

JOHNSON, David A.; NÈVE, Marcel. Analysis of Possible Lower Lumbar Strains Caused by the Structural Properties of Automobile Seats: A Review of Some Recent Technical Literature.**Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics** Volume 24-Number 9, November /December 2001

KANG , Suon Jong; CHUN, B.K.. An effective approach to prediction of the collapse mode in automotive seat structure. **Thin-Walled Structures**, 37 p. 113-125, 2000.

KELLY, James Randy. BioRID-IIc Rear Impact Crash Test Dummy. Robert A. Denton, Inc. 2002.

Disponível em: <http://crash-network.com/Basic_Knowledge/BioRIDPaper.pdf>

Acesso em: 15 novembro 2008.

KOLICH, Mike. Predicting automobile seat comfort using a neural network. **Industrial Ergonomics** 33 (2003), p. 285-293.

KOLICH, Mike. A conceptual framework proposed to formalize the scientific investigation of automobile seat comfort. **Applied Ergonomics** 39 (2008), p. 15-27.

LEAR Safety

Disponível em: <<http://www.lear.com/7dimensions/safety/innovations/index.jsp>>

Acesso em 14 março 2009

MOLARI, G.; RONDELLI V.. Evaluation criteria for the anchorage resistance of safety belts on agricultural tractors. **Biosystems Engineering** 97 p.163-169 (2007).

NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration. Department of Transportation. 49 CFR Part 571. 2002. Disponível em:

<<http://www.nhtsa.dot.gov/cars/rules/rulings/HeadRest/Index.html> > Acesso em: 18 dez. 2008.

O'NEILL Brian, May 1999, Head restraints – the neglected countermeasure. **Accident Analysis & Prevention**, 32 p. 143-150, (2000).

ORTHOPOD

Disponível em:

<www.eorthopod.com/imagens/ContentImagens/spine/spine_cervical_burners/cervical_burners_anatomy01.jpg> Acesso em 14 março 2009.

Rear-end Collisions Caused by Large Trucks (**Statistics in Japan**) – Informal Document number GRRF-63-XX, February 2008. Disponível em:

<http://www.unece.org/trans/doc/2008/wp29grrf/ECE-TRANS-WP29-GRRF-63-inf28e.pdf>
Acesso em: 10 outubro 2008.

SAE INTERNATIONAL – THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND SEA AIR AND SPACE. SAE J287: driver hand control reach, Jun88.

SAE INTERNATIONAL – THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND SEA AIR AND SPACE. SAE J 833: human physical dimensions, May89.

SAE INTERNATIONAL – THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND SEA AIR AND SPACE. **SAE J 1100**: motor vehicle dimensions, Jun98.

SCAPATICCI, Dario. Revista **AUTO TECNICA** p.110 a 116. Setembro de 2008.
SIEFERT A.; PANKOKE S.; WÖLFEL H.P.. Virtual optimization of car passenger seats: Simulation of static and dynamic effects on drivers' seating comfort. *International Journal of Industrial Ergonomics* (2008), doi: 10.1016/j.ergon.2007.08.016.

STEMPER, Brian D.; YOGANANDAN, Narayan; PINTAR, Frank A. Effect of head restraint backset on head-neck kinematics in whiplash. *Accident Analysis & Prevention* 38 (2006), p. 317-323.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretriz **78/932**. Apoio de cabeça dos bancos de veículos automotores. De 16/10/1978.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretriz **96/27**. Dimensão do veículo e sua massa. De 20/05/1996.

UNIÃO EUROPÉIA. Diretriz **96/37**. Resistência dos bancos e de suas fixações. De 17/06/1996.

UPSTATE MEDICAL UNIVERSITY

Disponível em: <www.upstate.edu> Acesso em: 13 abril 2008

VERVER, M.M.; LANGE, R.; HOOFF, J. Van; WISMANS, J.S.H.M.. Aspects of seat modeling for seating comfort analysis. *Applied Ergonomics* 36 (2005), p. 33-42.

VIANO, David C.. **Role of the Seat in Rear Crash Safety**. Published by Society of Automotive Engineers, Inc. (2002).

VIANO, David C. **The Debate Between Stiff and Yielding Seats**. Published by Society of Automotive Engineers, Inc. (2003)

WATANABE, Yoichi; ICHIKAWA, Hideaki; KAYAMA, Osamu; ONO, Koshiro; KANEOKA, Koji; INAMI, Satoshi. Influence of seat characteristics on occupant motion in low-speed rear impacts. *Accident Analysis & Prevention*, 32, p. 243-250, (2000).

WELCHER, Judson B.; SZABO, Thomas J.. Relationships between seat properties and human subject kinematics in rear impact tests. *Accident Analysis & Prevention*, 33 p. 289-304, (2001).

WÖLFEL BERATENDE INGENIEURE GmbH

Disponível em:

<<http://www.woelfel.de/wbieng/biomechaniksitzkomfort/casimir/schwingungsdummyscasimir.html>> Acesso em: 12 abril 2008

WU, X.; RAKHEJA S.; BOILEAU, P.-É.. Distribution of human-seat interface pressure on a soft automotive seat under vertical vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24 p. 545-557, (1999).

ANEXOS

Anexo 1 - Especificações dos materiais dos projetos de 1995 e 2004.

- Tubo redondo diâmetro 18 x 1,0 mm SAE 1008.
 - Propriedades mecânicas:
 - Limite de resistência a tração: 310 MPa (mínimo)
 - Dureza: 65 HRB
 - Alargamento > 25%. Em teste de achatamento o tubo não pode apresentar ruptura.
 - Composição química: C =0,10 máx.; Mn=0,50 máx.; P=0,040 máx.; S=0,050 máx..
- NBR EP 5915
 - Propriedades mecânicas:
 - Limite de resistência a tração: 270 a 370 MPa
 - Limite de escoamento: 260 MPa (máximo)
 - Composição química: C =0,10 máx.; Mn=0,45 máx.; P=0,030 máx.; S=0,030 máx..
- NBR EEP 5915
 - Propriedades mecânicas:
 - Limite de resistência a tração: 270 a 350 MPa
 - Limite de escoamento: 140 a 230 MPa
 - Composição química: C =0,08 máx.; Mn=0,45 máx.; P=0,030 máx.; S=0,030 máx.; Al= 0,020 mín.
- USI STAR EM450 (USIMINAS)
 - Propriedades mecânicas:
 - Limite de resistência a tração: 450 MPa (mín.)
 - Limite de escoamento: 300 MPa (mín.)
 - LE/LR=0,89
- Alongamento: 24% (mín.)
 - Dureza: 87 HRB

Anexo 1 (continuação)

- Composição química: C =0,10 máx.; Mn=1,30 máx.; P=0,03 máx.; Si=0,50 máx.; Al= 0,010 mín.
- DOCOL 600DP (SSAB – Swedish Steel)
 - Propriedades mecânicas:
 - Limite de resistência a tração: 600 a 700 MPa
 - Limite de escoamento: 500 MPa (mín.)
 - LE/LR=0,89
 - Alongamento: 20% (mín.)
 - Dureza: 87 HRB
 - Composição química: C =0,10 máx.; Mn=0,60 máx.; P=0,030 máx.; Si=0,40 máx.; Al= 0,020 mín.; Nb= 0,020 mín.