

**ALEXANDRE YUUZO TANABE**

**ERGONOMIA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO  
AUTOMÓVEL**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do diploma de Engenheiro de Produção

**São Paulo**

**2014**

**ALEXANDRE YUUZO TANABE**

**ERGONOMIA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO  
AUTOMÓVEL**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do diploma de Engenheiro de Produção

Orientador: Professor Doutor Laerte Idal Sznelwar

**São Paulo**

**2014**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Tanabe, Alexandre Yuuzo**  
**Ergonomia no processo de desenvolvimento do automóvel /**  
**A.Y. Tanabe. -- São Paulo, 2014.**  
**103 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.**

**1.Ergonomia 2.Automóveis (Projeto; Desenvolvimento)  
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento  
de Engenharia de Produção II.t.**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, pelo apoio durante a minha vida.

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma visão geral do processo de desenvolvimento de automóveis em uma grande montadora de veículos e as aplicações de ergonomia durante o ciclo de vida do veículo, culminando em recomendações para o aperfeiçoamento contínuo do conforto e da facilidade no uso dos automóveis a partir das contribuições de ergonomia. O questionário proposto foi adicionalmente submetido a um teste de verificação em campo para validar seu uso. Para o desenvolvimento da análise foram utilizados softwares e equipamentos do laboratório de ergonomia da Escola Politécnica de São Paulo.

**Palavras chave:** Ergonomia, Projeto de automóveis, Processo de Desenvolvimento de Automóveis

## **ABSTRACT**

This paper presents an overview of an automotive development process in a large motor vehicle assembler and applications of ergonomics during the life cycle of the vehicle, culminating in recommendations for continuous improvement of comfort and ease of use of the vehicle through ergonomics contribution. The proposed questionnaire was further subjected to a verification test on field to validate its use. For the development of the analysis, the software and equipment of ergonomics laboratory of the Polytechnic School of São Paulo were used.

Keywords: Ergonomics, Automotive Design, Automotive Development Process

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Propaganda da GM e suas marcas. Fonte: www.gm.com.....	13
Figura 2: Vista aérea na fábrica em São Caetano. Fonte: carpress.uol.com.br .....	15
Figura 3: Chevrolet Malibu .....	17
Figura 4: Modelo de organização Estrela (GALBRAITH, 2012) .....	18
Figura 5: Representação esquemática do sistema homem-máquina (ILDA, 2005)????? .....	22
Figura 6: Modelo V de desenvolvimento do automóvel (Adaptado de BHISE, 2012).....	24
Figura 7: Processo de Vehicle Packaging (Adaptado de WEBER, 2009) .....	28
Figura 8: Assento do motorista pode incluir itens adicionais, como o apoio de braço na foto.....	37
Figura 9: Sistema de forças verticais pelos componentes da cadeira e pelos pés (adaptado de CHAFFIN e ANDERSSON,, 1991) .....	39
Figura 10: Posição correta de direção. Adaptado de www.sintejur.com.br .....	42
Figura 11: Layouts do modelo humano RAMSIS (RAMSIS, 2013) .....	45
Figura 12: Modelos de assentos importados de softwares externos (Catia) .....	46
Figura 13: Tipos de superfícies (RAMSIS, 2013) .....	46
Figura 14: Posturas pré configuradas (RAMSIS, 2013) TRADUZIR.....	47
Figura 15: Distribuição de altura da população alemã (adaptado de RAMSIS, 2013).....	48
Figura 16: Percentis da distribuição de altura em diversos países (adaptado de RAMSIS) .....	49
Figura 17: Análise de desconforto gerado pelo RAMSIS .....	50
Figura 18: Vista Frontal da árvore cinematográfica (RAMSIS, 2013).....	51
Figura 19:Localização do <i>H-Point</i> no manequim .....	52
Figura 20: Principais processos automotivos ao longo do tempo.....	57
Figura 21: Gráfico Custo x Tempo de projeto .....	58
Figura 22: Modelo genérico de um processo de desenvolvimento de projeto de veículos .....	59
Figura 23 Projeto de <i>body car</i> de um novo veículo.....	61
Figura 24: Cadeia crítica de dimensionamento de projeto .....	62
Figura 25 Da esquerda para direita, começando do topo: Avaliação ergonômica do motorista; teste de aerodinâmica; teste de dirigibilidade; projeto de planta de manufatura (WEBER; 2012) .....	64
Figura 26: Modelos de carros feitos em barro (Clay models). Fonte: images.businessweek.com	65
Figura 27: Mockup físico de simulação de postura (RAMSIS) .....	66
Figura 29: Campo de visão do motorista (adaptado de BHISE, 2012).....	69
Figura 30: Representação do <i>Eyellipse</i> (adaptado de BHISE, 2012).....	70
Figura 31: Modelos matemáticos de análise do campo de visão.....	73
Figura 32: Representação da visão dos olhos direito e esquerdo.....	74
Figura 33: Cones de visão (RAMSIS, 2013) .....	75
Figura 34: Campo de visão indireta do espelho central interno .....	76
Figura 35: Dois itens citados como pontos a serem melhorados pela pesquisa.....	93
Figura 36: Dois Layouts possíveis de controle de janelas.....	94
Figura 37: Dois exemplos de layouts de controles. O layout da esquerda atendem melhor às recomendações técnicas da SAE .....	95

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Pontuação de atributos do automóvel (OLIVEIRA, 2005) .....	23
Tabela 3: Comparação entre mockups físicos x virtuais .....	67
Tabela 4: Métodos de obtenção de dados .....	79
Tabela 5: Resumo das avaliações ergonômicas no PDA .....	80
Tabela 6: Resumo dos métodos de ergonomia .....	82
Tabela 8: Matriz de avaliação ergonômica .....	87
Tabela 9: Perfil dos entrevistados.....	90

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANFAVEA Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores  
CAD Computer Aided Design  
FMEA Failure Mode and Effect Analysis  
GM General Motors  
GPS Global Positioning System  
IEA International Ergonomics Association  
OEM Original Equipment Manufacturer  
P&D Pesquisa e desenvolvimento  
PDA Processo de Desenvolvimento do Automóvel  
QFD Quality Function Deployment  
SAE Society of Automotive Engineers  
TTO Trabalho, Tecnologia e Organização  
VW Volkswagen

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Apresentação .....	11
1.2 A General Motors .....	13
1.3 A Chevrolet.....	16
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	17
2.1 Estratégia.....	17
2.2 Ergonomia.....	19
2.3 Critérios na escolha de automóvel .....	22
2.4 Ergonomia e projeto de automóveis.....	23
2.5 Avaliação do veículo.....	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	43
3.1 Metodologia .....	43
3.2 Materiais .....	44
4. APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE .....	54
4.1 Ergonomia na GM.....	54
4.2 O Processo de Desenvolvimento do Automóvel.....	56
4.3 Processos de Ergonomia no PDA .....	65
4.3 Outros métodos de avaliação de ergonomia .....	76
5. ANÁLISE DOS DADOS.....	79
5.1 Recomendações de ergonomia.....	79
6. CONCLUSÃO .....	96
7. REFERÊNCIAS.....	97
9. ANEXOS .....	99

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Apresentação

Este trabalho apresenta a visão geral do processo de criação de automóveis na General Motors (GM), processo genericamente denominado de PDA (Processo de Desenvolvimento de Automóvel). A partir do mapeamento do PDA analisa-se o papel da ergonomia durante o processo de desenvolvimento do veículo. Para realizar este estudo foram utilizados softwares e equipamentos do laboratório de ergonomia da POLI-USP. O laboratório possui softwares para análise ergonômica voltada para a concepção de veículos automotores, dentre elas o RAMSIS, utilizado principalmente para o motorista. Após apresentação do processo propõe-se uma sugestão de avaliação e melhoria contínua do desempenho ergonômico dos automóveis a serem embutidos em futuros projetos e processos de desenvolvimento. Tal proposta também inclui um teste do questionário proposto para verificar seu desempenho.

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas com representantes de certas áreas da General Motors no Brasil. O estudo do software RAMSIS de ergonomia envolveu contatos freqüentes com a equipe comercial e de suporte, sediada na Alemanha. O trabalho também foi extensamente apoiado em bibliografias internacionais sobre temas ligadas à ergonomia aplicada a automóveis e processo de desenvolvimento do automóvel. Diversos tipos de manuais relacionados a softwares, especificações técnicas e projetos foram consultados para este trabalho.

O estudo se justifica pela crescente exigência e conscientização dos consumidores de carros, dentro de um ambiente de mercado altamente competitivo, setor em que montadoras buscam oferecer diferenciais que agreguem valor aos consumidores, buscando vantagem competitiva sustentável em relação aos seus concorrentes, para conquistar clientes em um mercado cada vez mais disputado.

Dentro desse contexto, as montadoras atualmente estão se esforçando para construir carros mais confortáveis, de mais fácil condução e seguros. Com o acirramento da concorrência, as montadoras de veículos que possuem um projeto que

considere aspectos ergonômicos pode ser um diferencial sustentável, criando vantagem competitiva de longo prazo sobre seus concorrentes.

Um automóvel ainda precisa atender a uma grande faixa de estaturas da população para ser homologado. No entanto tal projeto de acomodação acrescenta grandes desafios, principalmente para os modelos mais populares, que possuem menos mecanismos de ajuste individual, pois se busca reduzir custos e o preço final ao consumidor. As recomendações buscam ajudar na priorização de itens a serem incluídos de acordo com as preferências do usuário.

Por essa razão a ergonomia, a ciência responsável pelo estudo da adequação das máquinas para uso do homem, é uma das disciplinas mais importantes atualmente nos projetos de automóveis. O interior dos veículos é carregado de conceitos baseados em conhecimentos oriundos da ergonomia: posição dos bancos, altura/distância do volante, botões, cintos de segurança, alavancas de câmbio, iluminação dentre outros. Os projetistas buscam desenvolver um lugar acolhedor, seguro e prático no interior dos veículos, principalmente para o motorista cuja atividade de direção traz desafios consideráveis.

O presente trabalho contou com o apoio no departamento de engenharia de produção da Escola Politécnica de São Paulo, através de seus laboratórios de pesquisa e instrumentos para realização de simulações e análise de dados. O departamento da Engenharia de Produção se divide em cinco grupos de pesquisa, dentre as quais inclui área de pesquisa denominada Trabalho, Tecnologia e Organização (TTO). A disciplina Ergonomia, Saúde e Segurança no Trabalho se insere dentro da área de TTO.

O TTO trata da organização do trabalho nas instâncias da atividade produtiva, abrangendo desde atividades industriais a serviços. Seu foco é no estudo da relação dinâmica entre trabalho e tecnologia. Abordagem sócio-técnica integra as propostas do grupo, assim como, projeto e gestão dos processos de produção de bens e serviços, aplica os ensinamentos da ergonomia para a o estudo do trabalho humano e busca o relacionamento entre as disciplinas Engenharia e as Ciências Sociais.

O grupo de pesquisa Trabalho, Tecnologia e Organização desenvolve pesquisas focadas nas questões organizacionais e de inovação tecnológica. O trabalho humano é um dos centros das atenções, seja em aspectos de ergonomia (com ênfase na análise da

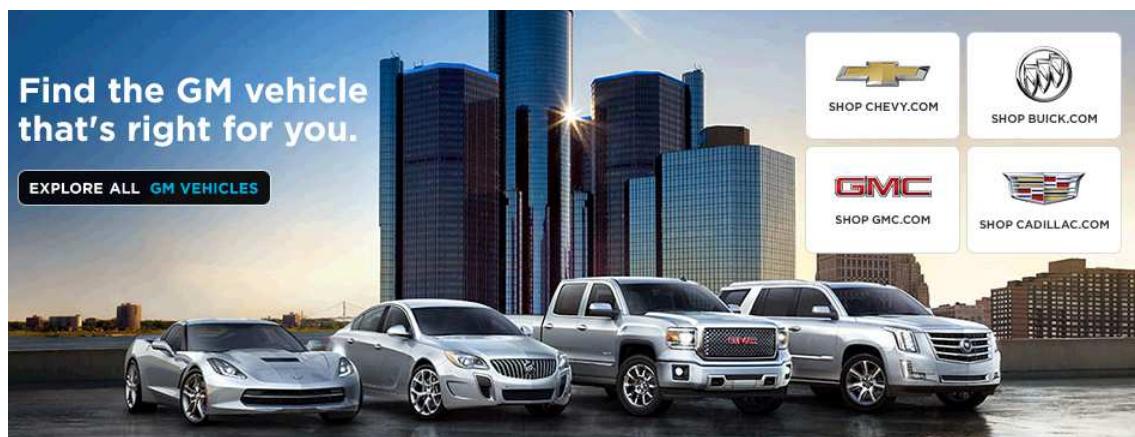
atividade), seja em aspectos da estrutura organizacional ou das relações sociais de produção. O outro foco é o do conhecimento, tecnologia e inovação voltados à competitividade.

O laboratório de ergonomia do PRO serviu de apoio para este trabalho, através do uso dos mesmos softwares e equipamentos utilizados pelas indústrias automotivas durante sua fase de projeto de automóveis ou ao longo do ciclo de vida do seu produto.

## 1.2 A General Motors

A General Motors Corporation, mais conhecida como GM, é uma multinacional americana com sede em Detroit, cujo principal negócio é a produção de automóveis. A GM trabalha com várias marcas dentro de seu portfólio, sendo quatro marcas principais:

- Buick
- Cadillac
- Chevrolet
- GMC



**Figura 1:** Propaganda da GM e suas marcas. Fonte: [www.gm.com](http://www.gm.com)

A empresa foi líder de vendas por 77 anos consecutivos, no período de 1931 a 2007. Possui fábricas de carros e caminhões em 34 países e vende veículos em cerca de

140 países ao redor do mundo. No ano de 2008 foram vendidas 8,35 milhões unidades em todo o mundo, sob as suas diversas marcas dentro do seu grupo.

## História

A montadora de automóveis norte-americana foi fundada em 1908. No ano posterior a GM adquiriu diversas marcas totalizando mais de 30 empresas até 1930. Em 1923 já era responsável pela comercialização de 10% dos veículos no mercado americano. No ano de 1956 a GM tornou-se a maior montadora de automóveis do mundo no período.

Nos anos 1920 e 1930, a GM expandiu-se em direção à Europa, principalmente para a Alemanha. Durante a guerra, a GM converteu quase todas as suas fábricas para a construção de material bélico para apoiar a empreitada militar. Com o fim da guerra, a produção de automóveis da empresa cresceu bastante, com uma série de novos modelos das diferentes marcas do grupo, melhorados por várias inovações tecnológicas e de design.

No início da década de 1970, a GM lançou um programa tendo em vista a remodelação de todos os seus produtos a fim de que se tornassem mais econômicos. Os carros passaram a ser mais leves e menores, sem desconsiderar o conforto. Em 1996, a GM foi a primeira montadora a produzir um automóvel elétrico em escala, o EV1.

Posteriormente a GM entrou em uma fase difícil, tendo tido seguidos anos de prejuízo e várias fábricas fechadas ao redor do mundo devido à produção de veículos que consomem muito combustível, incompatíveis com a forte alta do preço do petróleo. A situação foi agravada após o advento da crise mundial de 2008.

A crise econômica de 2008 agravou a situação da empresa, que teve que recorrer a ajuda governamental, recebendo cerca de 13 bilhões de dólares no final de 2008 para resolver seu problema de liquidez. Obteve auxílio do governo dos Estados Unidos e do Canadá por meio de empréstimos governamentais para evitar uma possível falência, em razão da recessão do final dos anos 2000, da alta dos preços do petróleo e da própria crise do setor automobilístico de 2008.

Durante esse período, em meio aos problemas financeiros e esforços de reestruturação, a GM anunciou que iria extinguir algumas marcas e concentrar-se em quatro marcas na América do Norte: Chevrolet, Cadillac, Buick e GMC. A partir do ano de 2010 a GM do Brasil deu inicio a reestruturação de seu portfólio de veículos no país, e consequentemente em alguns países do Mercosul.

## A GM no Brasil

A General Motors do Brasil é a maior subsidiária da corporação na América do Sul e a segunda maior operação fora dos Estados Unidos, atuando no Brasil desde 1925. Naquele ano, a empresa começou a funcionar em galpões alugados no bairro do Ipiranga, em São Paulo. No começo de sua jornada, as atividades consistiam na montagem de veículos importados dos Estados Unidos, sendo que, após cinco anos, a General Motors do Brasil inaugurava oficialmente em 1930 a sua primeira fábrica, em São Caetano do Sul.

Em 1958 começou a operar a segunda fábrica, em São José dos Campos, inaugurada oficialmente um ano depois pelo então presidente da República Juscelino Kubitschek. Ainda naquele ano, saíram da linha de montagem da fábrica de São Caetano do Sul os primeiros veículos genuinamente nacionais da marca: os caminhões Chevrolet Brasil e a picape modelo 3100, para cargas leves, inaugurando a fabricação de veículos leves da GM no Brasil.



Figura 2: Vista aérea na fábrica em São Caetano. Fonte: [carpress.uol.com.br](http://carpress.uol.com.br)

Em 28 de abril de 2008, a unidade da General Motors do Brasil em São Caetano do Sul adotou o terceiro turno de trabalho na área de produção de veículos. Pela primeira vez na história da empresa que aquela unidade passou a produzir veículos dia e noite, de forma ininterrupta durante 24 horas.

### **1.3 A Chevrolet**

A GM atua no mercado brasileiro através da marca Chevrolet. Em 2012 a empresa vendeu no mercado brasileiro 642.649 veículos, ocupando o terceiro lugar no ranking das maiores indústrias automobilísticas brasileiras. No Brasil a GM fabrica e comercializa veículos com a marca Chevrolet há 88 anos. A companhia tem três Complexos Industriais que produzem veículos em São Caetano do Sul e em São José dos Campos, ambos em São Paulo, além de Gravataí (RS). Conta ainda com unidades em Mogi das Cruzes (produção de componentes estampados e peças), Sorocaba (Centro Logístico Chevrolet) e Indaiatuba (Campo de Provas), todas em SP, além de um Centro Tecnológico, em São Caetano do Sul (SP), com capacidade para desenvolvimento completo de novos veículos. A subsidiária brasileira é um dos cinco centros mundiais na criação e desenvolvimento de veículos, nos campos da engenharia, design e manufatura.

A marca Chevrolet no Brasil é constituída de 18 modelos produzidos e/ou vendidos: Celta, Classic, Prisma, Onix (hatchback), Agile, Cobalt, Sonic hatchback, Sonic sedã, Cruze sedã, Cruze Sport6 (hatchback), Malibu, Camaro, o mpv Spin, os Trailblazer e Captiva e picapes Montana, S10 Cabine Simples e S10 Cabine Dupla.



**Figura 3: Chevrolet Malibu**

A Chevrolet agrupa seus veículos nas seguintes categorias:

- Carros
- SUVs (Sports Utility Vehicle)
- Pickups
- Minivans

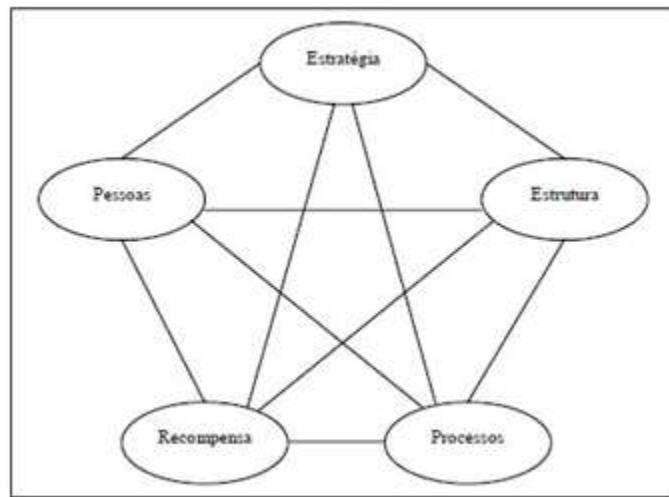
## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Estratégia**

Galbraith *et al.* (2010) estruturaram um método que visa analisar organizações a fim de possibilitar o desenvolvimento de uma empresa ativa, flexível e dinâmica. O grupo de autores designou cinco componentes principais de toda organização para facilitar a análise e classificação dos diferentes perfis da empresa:

- Estratégia
- Estrutura
- Competências laterais
- Sistema de Recompensas
- Sistema de pessoas

Tais componentes são representadas por uma estrela, cada qual ocupando uma ponta dela. Tais componentes são interdependentes, relações que são representadas pelas linhas que ligam as 5 pontas das estrelas.



**Figura 4: Modelo de organização Estrela (GALBRAITH, 2012)**

A estratégia representa a visão e a missão da organização, suas metas de curto e longo prazo. Também definem o mercado de atuação e a fonte de vantagem competitiva que a fará destacar no mercado e o conjunto de habilidades e qualidades necessárias definido como competências laterais. Em síntese, a estratégia define a direção da empresa.

A competência lateral de uma organização é definida como sua habilidade em construir e gerenciar e reformular os diversos mecanismos de coordenação. Tal coordenação visa alinhar as diversas partes da empresa a fim de direcionar os esforços de cada parte para alcançar os objetivos estabelecidos na estratégia.

Do mesmo modo que Galbraith, Henderson (1998) afirma que a estratégia pode ser vista como um plano de ação que se desenvolve e se ajusta à vantagem competitiva de uma empresa, a partir do reconhecimento das capacidades organizacionais e dos objetivos pretendidos. Decorre que a estratégia, sob a perspectiva clássica desses autores, passou a ser então reconhecida como um plano ou um curso de ação conscientemente apoiado em uma diretriz, composta por dois elementos essenciais: preparação prévia e desenvolvimento consciente e deliberado.

Para Minotto (2002) os modelos de desenvolvimento de estratégias como o planejamento estratégico, o controle financeiro, o controle estratégico, a estratégia

competitiva e a vantagem competitiva, entre outros, são alternativas que se apresentam às organizações e, na sua maioria, não excludentes entre si. No processo de formulação da estratégia também pode ser observada a existência de diferentes enfoques, os quais poderão se constituir em diferenças elementares nas estratégias das organizações.

Tais características permitem que as organizações captem tendências e comportamentos de mercado com mais eficiência, habilidade que se gera vantagem competitiva de longo prazo para as companhias, permitindo sua existência no longo prazo, através de antecipações de tendências. Nesse contexto emergente, a situação atual exige que as organizações se destaquem de suas concorrentes através da oferta de diferenciais em relação aos seus concorrentes. Dentro do ramo automotivo, a customização e o conforto certamente são diferenciais que influenciam fortemente na conquista de clientes, compostos por pessoas heterogêneas cujas exigências tornam-se mais complexas ao decorrer do tempo.

Na estrutura de mercado atual, as companhias não podem esperar que seus clientes aceitem passivamente seus produtos. O cliente possui a expectativa de que as empresas irão desenvolver produtos que satisfaçam suas necessidades. Analisando particularmente os aspectos ergonômicos, as medidas antropométricas dos clientes são amplas e heterogêneas, exigindo-se a necessidade dos veículos possuem sistemas que permitam a acomodação das diversas características antropométricas do seu público alvo. Substituindo o conceito de vantagem competitiva para empresas focada em mercado, o posicionamento de fabricantes de automóveis no tratamento da ergonomia em seus projetos pode garantir sua sobrevivência no longo prazo.

Mintzberg (2006) apresenta um modelo para compreensão das organizações baseado em cinco elementos principais de sua estrutura e cinco tipos de mecanismos de coordenação do trabalho que podem predominar em uma organização. Também são estudados os fatores situacionais que influenciam a estrutura de uma organização.

## 2.2 Ergonomia

De acordo com Falzon (2007), a IEA (*International Ergonomics Association*) adotou em 2000 uma nova definição de ergonomia:

“A ergonomia é a disciplina científica que visa a compreensão fundamental entre os seres humanos e os outros componentes de um sistema, e a profissão que aplica princípios teóricos, dados e métodos com o objetivo de otimizar o bem-estar das pessoas e o desempenho global dos sistemas.

Os profissionais de ergonomia que praticam a ergonomia, os ergonomistas, contribuem para o planejamento, a concepção e avaliação das tarefas, empregos, produtos, organizações, meios ambientes e sistemas, tendo em vista torná-los compatíveis com as necessidades, capacidades e limites das pessoas”

Ainda no âmbito da IEA, os ergonomistas devem ter a compreensão ampla do conjunto da disciplina, levando em conta os fatores físicos, cognitivos, sociais, organizacionais, ambientais, dentre outros. Embora trabalhem costumeiramente em setores específicos (denominados campos de aplicação), tais setores não são mutuamente excludentes e estão sob processo de constante evolução, dado que novos campos surgem e os já existentes desenvolvem novas perspectivas. Devido ao aspecto dinâmico do objeto de estudo da ergonomia, os campos de estudo foram agrupados de maneira a melhor organizar os estudos. Tais áreas são denominadas *Áreas de Especialização*.

A ergonomia física: Trata das características anatômicas, antropométricas, fisiológicas e biomecânicas do homem em sua relação com a atividade física. Os temas mais relevantes compreendem as posturas de trabalho, a manipulação de objetos, os movimentos repetitivos, os problemas ósteo-musculares, o arranjo físico do posto de trabalho, a segurança e a saúde dentre outros.

A ergonomia cognitiva: Aborda os aspectos mentais, tais como a percepção, a memória, o raciocínio e as repostas motoras, com relação às interações entre as pessoas e outros componentes de um sistema. Os temas centrais compreendem a carga mental, os processos de decisão, o desempenho especializado, a interação homem-máquina, a confiabilidade humana e o estresse profissional na sua relação com a concepção pessoa-sistema.

A ergonomia organizacional: Trata da otimização dos sistemas sociotécnicos, incluindo sua estrutura organizacional, regras e processos. Sistema sociotécnico pode

ser entendido como um ou mais sistemas técnicos que incluem pessoas como partes inerentes do sistema, englobando o conhecimento de como o sistema deve ser usado, sendo que tais sistemas devem ter processos operacionais definidos, passíveis de serem regidos pelas organizações e serem afetados por leis e políticas regulamentadoras. Os temas mais relevantes compreendem a comunicação, a gestão do coletivo, a concepção do trabalho, a concepção dos horários de trabalho, o trabalho em equipe, a concepção participativa, a ergonomia comunitária, o trabalho cooperativo, as novas formas de trabalho, a cultura organizacional, as organizações virtuais, e a gestão pela qualidade.

### **Abordagem ergonômica de sistemas**

O sistema é um conjunto de elementos (ou subsistemas) que interagem entre si, com um objetivo comum e que evoluem no tempo ( IIDA, 2005). Um sistema é composto dos seguintes elementos:

- *Fronteira* - são os limites do sistema que pode tanto ter uma existência física, como uma membrana de uma membrana de uma célula, ou parede de uma fábrica como pode ser apenas uma delimitação conceitual para efeito de estudo, como a fronteira de posto de trabalho.
- *Subsistemas* - São os elementos que compõe o sistema
- *Entradas (Inputs)* - Representam os insumos ou variáveis independentes do sistema
- *Saídas* - Representam os produtos ou variáveis dependentes do sistema.
- *Processamento* - São as atividade desenvolvidas pelos subsistemas que interagem entre si para converter as entradas em saídas.

### **A interação do sistema homem-automóvel**

Considerando a interação entre o motorista e seu automóvel, verifica-se que o homem busca informações em diversas fontes dentro de seu automóvel, através de instrumentos e ruídos, por exemplo. O campo de ação é constituído pela via de condução (estrada, rua, etc.), que também fornece diversas informações ao homem. Algumas informações sobre o ambiente são representadas pela paisagem, sinalização de estradas, temperatura, iluminação externa e outras fontes. Concomitantemente, o

operador (motorista) pode receber diversos tipos de instruções, como o trajeto que deve executar, a velocidade máxima permitida, e assim por diante. Com todas essas informações, ele dirige o automóvel atuando nos dispositivos de controle representando pelos pedais, volante, câmbio, botões e outros comandos. Finalmente, a saída ou resultado do sistema é o deslocamento do automóvel,

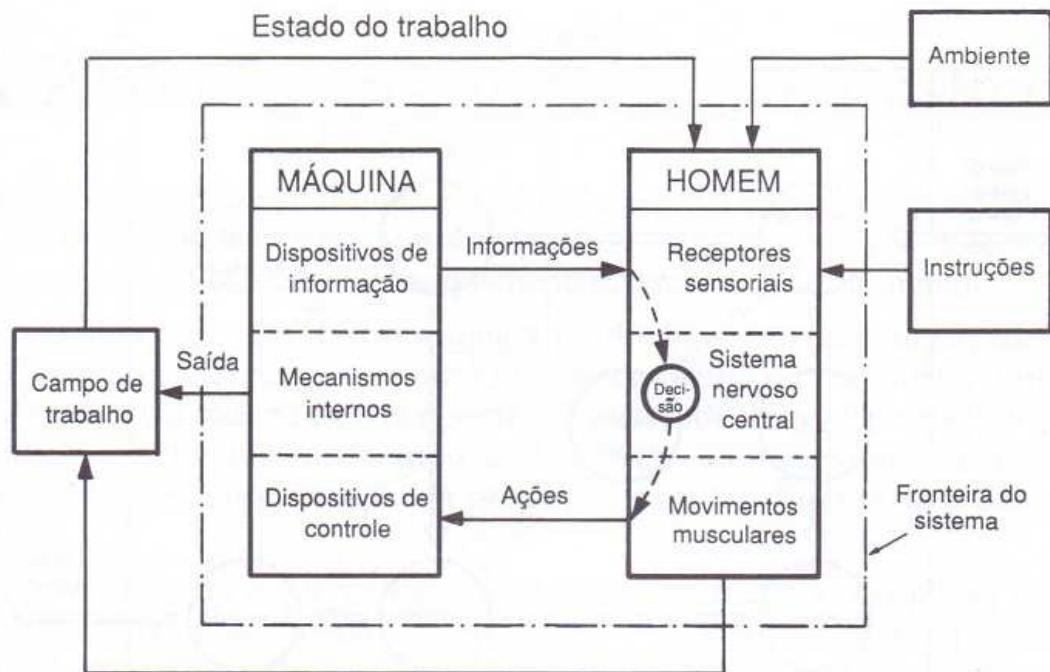


Figura 5: Representação esquemática do sistema homem-máquina (ILDA, 2005)?????

### **2.3 Critérios na escolha de automóvel**

Uma pesquisa feita junto a 302 consumidores de automóveis aborda o processo de avaliação dos atributos que norteiam sua decisão de compra (MATTAR, 2011). Segundo o autor, o consumidor segue o seguinte processo: primeiramente coleta informações dos veículos de seu interesse, denominado ‘Processo de procura’. Após tal processo, o consumidor passa ao ‘Processo de Avaliação dos Atributos’ que norteiam sua decisão de compra.

Oliveira (2005) realizou uma pesquisa a fim de quantificar os atributos do Processo de Avaliação de Atributos, com a pontuação definida pelos consumidores.

Para obter dados a respeito destes atributos, foi solicitado ao entrevistado que de uma lista de 16 atributos escolhesse e ordenasse de 1 a 5 os cinco principais que nortearam a decisão de compra. Após a tabulação simples dos percentuais totais de cada atributo atribuiu-se, respectivamente, peso 5 ao 1º, 4 ao 2º, 3 ao 3º, 2 ao 4º e 1 ao 5º para se chegar a uma classificação única, a qual é apresentada no quadro abaixo.

**Tabela 1: Pontuação de atributos do automóvel (OLIVEIRA, 2005)**

ATRIBUTO	Nº DE PONTOS
Qualidade	248
Economia de Combustível	205
Confiança na Marca	152
Preço	145
Desempenho	144
Durabilidade	96
Segurança	77
Modelo Moderno	72
Espaço para Passageiros	68
Espaço para Bagagem	56
Confiança na Assistência Técnica	47
Modelo a Alcool	39
Cor	39
Facilidade de Pagamento	19
Atendimento do Revendedor	8
Modelo dá Status	7
Outros	36

Oliveira destaca, na análise deste quadro, que as sete primeiras posições são ocupadas por atributos de compra racionais (Qualidade, Economia de Combustível, Confiança na Marca, Preço, Desempenho, Durabilidade e Segurança).

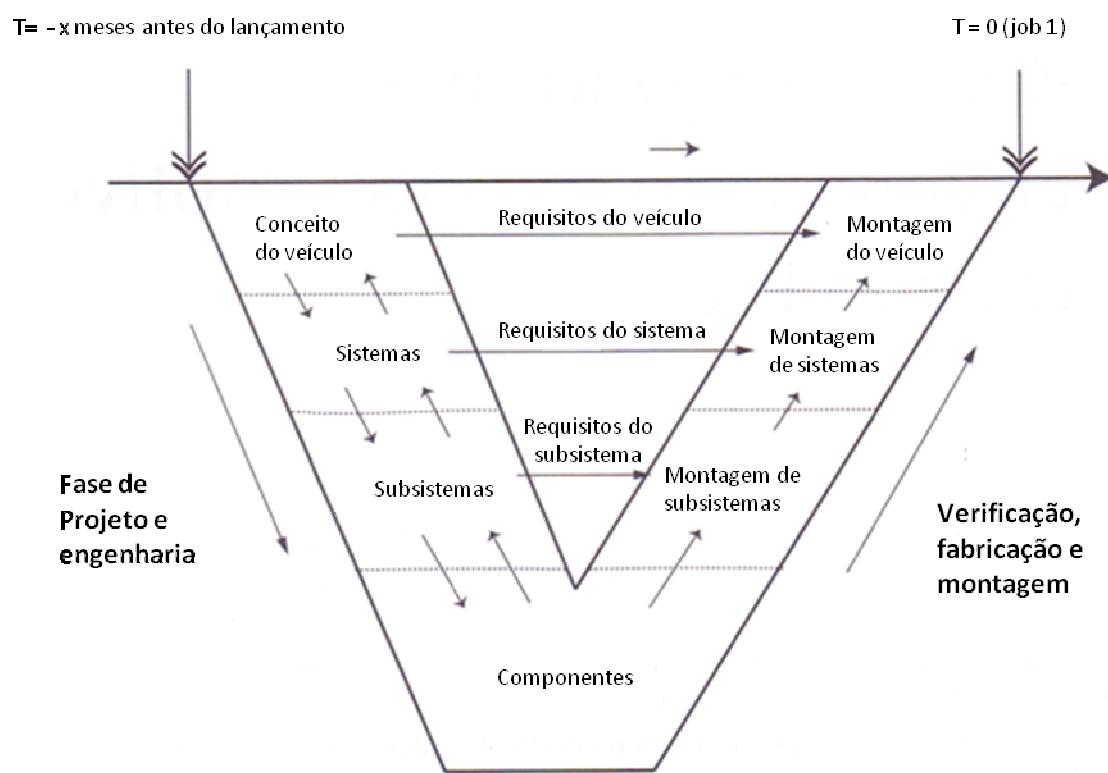
## 2.4 Ergonomia e projeto de automóveis

O projeto de um automóvel é geralmente alcançado através do uso da metodologia de engenharia de sistemas, que envolve a criação de diversas equipes envolvendo diferentes disciplinas (BHISE, 2012). As equipes são colocadas no mesmo lugar para que possam se conhecer formalmente e informalmente para melhor se comunicarem sobre diversas questões e *trade-offs* relacionados a interfaces entre vários sistemas e subsistemas no veículo. Os ergonomistas designados para o programa

acompanham o desenvolvimento do veículo desde seus estágios iniciais (momento em que ocorre a definição do conceito do veículo) até a etapa em que o automóvel é produzido e utilizado pelos clientes. Durante cada estágio do desenvolvimento, os ergonomistas conduzem diversas tarefas para assegurarem-se que o automóvel em desenvolvimento vai ser percebido pelos consumidores com qualidades ergonomicamente superiores.

### 2.3.1 Modelo de Engenharia de sistemas

A figura a seguir mostra o modelo “V” de engenharia de sistemas:



**Figura 6: Modelo V de desenvolvimento do automóvel (Adaptado de BHISE, 2012)**

O modelo mostra as principais fases ao longo do processo de desenvolvimento de um veículo. O eixo horizontal representa o tempo em meses, sendo que o processo inicia-se com o anteprojeto do automóvel no tempo “-x meses” antes do lançamento proposto. O final do processo é marcado pelo chamado *Job 1*, que é o jargão da indústria automotiva para referir-se ao evento em que o primeiro lote da produção dos veículos se inicia na linha de montagem. O projeto (ou programa do veículo) geralmente começa muitos meses antes do “*Job 1*” (por volta de 12-48 meses, dependendo da complexidade do programa).

O modelo “v” mostra as etapas do projeto de desenvolvimento do automóvel. Parte-se inicialmente de um conceito de veículo, desdobrando-o em sistemas que por sua vez são divididos em subsistemas, chegando-se até o nível dos componentes de cada subsistema que serão necessários para a produção completa do carro (lado esquerdo do “V”). Definidas as especificações dos componentes, parte-se para as etapas de execução que consistem em montagem, verificação e testes dos componentes com o objetivo de assegurar que tais componentes estão de acordo com suas características funcionais especificadas na fase de planejamento.

Os componentes (nível mais baixo) são montados para formar os subsistemas que são testados para verificar sua adequação aos requisitos/especificações funcionais. Similarmente, os subsistemas são montados em sistemas, para finalmente serem integrados para criar o automóvel. Em cada fase, as montagens dos subsistemas, sistemas e do veículo são analisados para certificar-se de que respeitam os respectivos requisitos especificados durante sua fase de projeto (representados pelas flechas horizontais que ligam os dois lados do modelo “v”).

Os ergonomistas designados para o programa devem participar de todas as fases avaliando continuamente o projeto para certificarem-se de que os usuários finais possam ser acomodados e aptos a usarem o veículo em todas as situações projetadas.

### **Fase de anteprojeto**

Nos estágios iniciais antes do início oficial do programa/projeto do veículo, a atividade de planejamento avançado de veículos determina o tipo do veículo (categoria, tipo do chassi, características de desempenho, etc.), tamanho (número de ocupantes , capacidade de carga, volume do porta malas, etc.) público/mercado-alvo e veículos de referência (competidores) que o novo veículo pretende repor ou com que pretende competir. Um pequeno grupo de engenheiros e projetistas do grupo avançado são selecionados para gerar esboços preliminares do conceito do veículo para analisar os desafios de projeto e engenharia (BHISE, 2012).

É elaborado um plano de negócios sendo o mais comum incluir os seguintes itens:

- Projeção do volume de vendas

- Vida estimada do veículo (marcado pelo início e fim da produção em série)
- Plano do projeto
- Estimativa de recursos necessários (mão de obra, materiais, financiamento, etc.)
- Plano financeiro.
- Análise técnica preliminar

O projeto ou programa do veículo começa, na maioria das companhias automotivas, após aprovação do plano de negócios pelo gerente da companhia (representado pelo tempo “–x meses”) com a seleção de um gerente responsável pelo comando do projeto e são alocados vários grupos funcionais para o projeto/programa, dentre os quais as equipes responsáveis pelo(a):

- Design
- Corpo e estrutura do automóvel (chamado *car body*)
- Conjunto chassis/propulsão (*powertrain*)
- Sistema de transmissão
- Sistema elétrico
- Controle climático
- Alocação dos componentes e sistemas no espaço interior do automóvel: *Vehicle packaging*
- Ergonomia
- Manufatura (peças e montagem)

O gerente do projeto também tem o apoio da área de desenvolvimento do produto e outras áreas relacionadas ao suporte do desenvolvimento do veículo. Os grupos são organizados a fim de desenvolver os diversos sistemas e subsistemas do automóvel.

A proposta de projeto (anteprojeto) é apresentada à diretoria da organização, discutindo-se os detalhes pertinentes com os proponentes do projeto. Com a aprovação

formal da diretoria, dá-se início ao projeto de desenvolvimento do veículo conforme as diretrizes contidas no *Bussiness Plan* (Plano de Negócios).

### **Fase de concepção do veículo**

A primeira etapa do projeto é a fase de concepção do veículo (WEBER, 2009). Durante esta fase são realizadas diversas análises detalhadas de possibilidade de atendimento dos requisitos dos veículos especificados pelos projetos, por meio de estudos, simulações e discussões com as equipes funcionais especializadas de diversas áreas. O veículo é detalhado ao máximo possível para análise e confirmação de sua viabilidade técnica, ocorrendo um procedimento de verificação se será possível atender aos requisitos estabelecidos pelo projeto. O veículo costuma ser desdobrado em sistemas, subsistemas e componentes, descendo ao menor detalhe possível para a realização de análises de produção, integração, montagem, etc.

As responsabilidades dos sistemas do veículo são geralmente atribuídas a um grupo de engenheiros, que normalmente são agrupados por sistemas. Cada grupo de engenheiros responsável por determinado sistema possui a atribuição configurar o posicionamento do seu sistema dentro do veículo, atividade denominada *vehicle packaging*. Também são responsáveis pela interface de seu sistema com os outros sistemas do veículo, a fim de atender aos requisitos funcionais e técnicos do veículo.

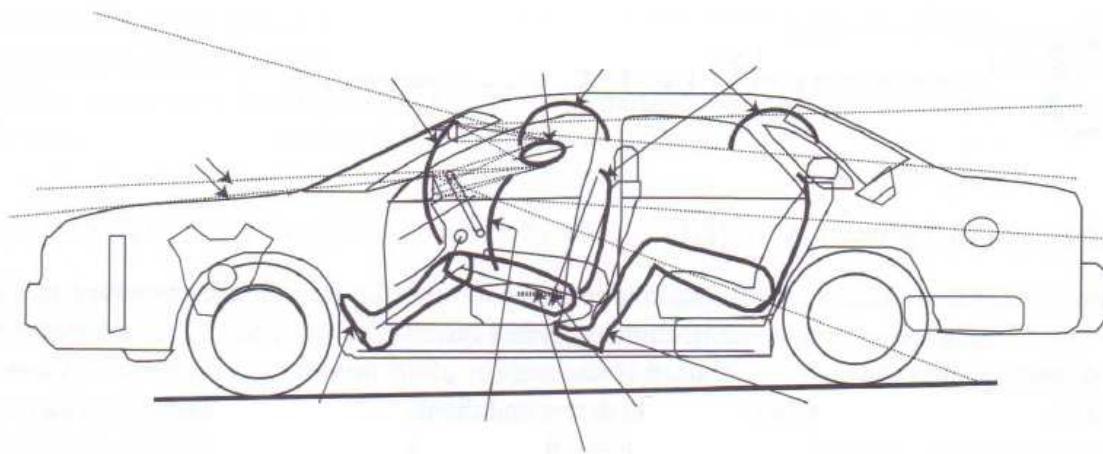
*Vehicle packaging* consiste em alocar os diversos sistemas (de transmissão, elétrico, de controle de temperatura, etc.), componentes (assentos, pedais, incluindo ocupantes) e espaços de armazenamento (porta-objeto dentre outros) dentro do espaço interior do veículo.

Durante esta fase os designers e engenheiros responsáveis pelo *vehicle packaging* trabalham com diferentes grupos de especialistas, envolvendo trabalhos como:

I - Modelos visuais tridimensionais gerados em computador do que seria seu aspecto real (design, cores, simulação de reflexos, etc.)

II - Mockups físicos: maquetes para representação, que podem ser feito de barro, madeira, fibra de vidro, etc.

Semelhante o *Vehicle Packaging*, ocorre o processo semelhante voltado para a acomodação do motorista e dos passageiros dentro do veículo projetado. Nesta fase o veículo existe apenas em modelos computacionais (ou podem ter auxílio de modelos construídos fisicamente) e é importante garantir que os tripulantes consigam exercer as diversas funções do automóvel projetado de maneira minimamente satisfatória, principalmente a atividade de direção do motorista. Para isso são estudadas as características do motorista e do futuro veículo, como alcance mínimo/máximo dos braços, área livre para movimentação da cabeça, região espacial onde se encontra a maioria dos olhos da população dentro do espaço do veículo (região denominada *eyellipse*) sendo esta última de vital importância para determinar a visibilidade geral do motorista ao redor de seu veículo e consequentemente sua capacidade de exercer direção segura. A visão é parte essencial na atividade de direção e será aprofundada mais adiante.



**Figura 7: Processo de Vehicle Packaging (Adaptado de WEBER, 2009)**

Após ou paralelamente ao desenvolvimento dos sistemas ocorre a etapa do desenvolvimento dos seus subsistemas, que consiste no maior detalhamento e especificação de cada sistema. Cada subsistema é então desdobrado ao nível mais baixo do modelo, que são os componentes em si.

#### 2.4.3 Fase de desenvolvimento em série

Podemos dizer, resumidamente, que a fase de concepção consiste no planejamento da fabricação em série do automóvel e sua análise de viabilidade. A fase de concepção encerra-se com um conjunto de *targets* e acordos formais e a descrição criteriosa das partes do veículo (em termos de geometria, material, tolerância, dentre

outros) (WEBER, 2009). Acordos formais envolvem contratos com fornecedores (OEM, fabricantes das peças originais do veículo), definição processos de montagem e projeto do *setup* da fábrica para a produção em série. Para assegurar que as peças serão entregues no custo, na qualidade e confiabilidade especificadas, o gerente de projetos especifica as ferramentas, os equipamentos e os processos necessários para a confecção das peças sob uma série de condições. Nesta fase ocorrem também a prototipagem final e o lançamento oficial do veículo no mercado, através do início da produção em série.

## **2.5 Avaliação do veículo**

### **Objetivo da ergonomia**

O objetivo principal dos ergonomistas é trabalhar juntamente com os projetistas para a produção de veículos ergonomicamente superiores (BHISE, 2012). Alguns critérios que podem ser utilizados para avaliação são:

Medidas objetivas: Quantidade ou porcentagem de recomendações de ergonomia atendidas em avaliação de cada categoria (ex: acomodação do motorista; campo de visão; entradas/saídas, etc.). Outros critérios podem ser estabelecidos como porcentagem de usuários que atendem a valores pré-estabelecidos para a execução de tarefas como tempo, freqüência de erro, freqüência de fechamento das pálpebras, desvio padrão do posicionamento do carro na pista durante sua condução em linha reta, velocidade média durante sua condução e desvio padrão da velocidade.

Medidas subjetivas: porcentagem de usuários satisfeitos, porcentagem de usuário que preferem o veículo testado em relação aos concorrentes, porcentagem de atributos classificados como esperados/encantadores/surpreendentes (de acordo com o modelo de Kano); porcentagem de usuários satisfeitos com a usabilidade de cada atributo (controle, display, etc.). Outras medidas quantitativas baseadas em *ratings*, tais como médias de *ratings* de determinada amostra populacional, porcentagem de *ratings* acima ou abaixo de determinado valor.

### **Ferramentas, métodos e técnicas de ergonomia**

Várias opções de ferramentas, métodos e técnicas podem ser utilizadas para avaliação de veículos e sistemas durante o processo de desenvolvimento do automóvel (BHISE, 2012):

- 1) Benchmarking de concorrentes e outros veículos da mesma empresa sob perspectiva da ergonomia: conforto, facilidade de dirigir ou executar controles, visualização do motorista, etc.;
- 2) Matriz QFD (*Quality Function Deployment*) para entender as necessidades do consumidor e traduzi-los em especificações e requisitos de projeto;
- 3) *Checklists* e *scorecards* (tabelas que registram avaliações) baseados em requerimentos de ergonomia e padrões estabelecidos pela indústria, pela empresa, por entidades de classe (SAE, ANFAVEA) e em requisitos de projetos;
- 4) Uso de modelos físicos ou matemático-computacionais como modelos paramétricos de projeto para avaliação das atividades do motorista e outras aplicações voltadas a análises ergonômicas, a fim de avaliar os *trade-offs* entre ergonomia e outros critérios, tais como funcionalidade, custo e agregação de valor. Alguns critérios comuns de avaliação são: avaliação de peso, simulação de colisões, arrasto aerodinâmico, simulações de fluxo de ar e controle de clima, etc.
- 5) Análise da tarefa (*task analysis*), análise modo de falha (FMEA) e análise de custo-benefício
- 6) Estudos em laboratório e de campo utilizando-se de métodos de observação, comunicação e experimentação (ex: avaliações usando protótipos, simuladores e outros)

### **Responsabilidades dos ergonomistas**

BHISE (2012) cita algumas responsabilidades comuns dos ergonomistas de automóveis durante ciclo de vida do veículo, tanto na fase de projeto quanto avaliações posteriores ao início da fabricação em série:

- 1) Prover diretrizes, especificações, requerimentos, dados, informações e resultados de pesquisas e análises experimentais, *scorecards* para as equipes de projeto, no momento certo e para responsável adequado.

- 2) Aplicar métodos, modelos e procedimentos disponíveis pela Sociedade dos Engenheiros Automotivos ( SAE), e por diretrizes internas e regulatórias.
- 3) Conduzir estudos e experimentos rápidos para resolver problemas nos quais não há informações suficientes disponíveis, no projeto do veículo ou em pesquisas anteriores, que surgem durante o andamento do projeto;
- 4) Avaliar premissas do projeto e premissas do produto, tais como conceitos do automóvel, esboços/rascunhos, modelos físicos/*mockups/bucks* (espécie de protótipo semi-funcional com várias limitações em relação ao modelo final), modelos CAD, protótipos, produção de veículos e competidores.
- 5) Participar do desenvolvimento de *test drive* e laboratórios de pesquisa de mercado, comparando com automóveis líderes (tanto da própria empresa quanto dos concorrentes)
- 6) Obter, rever e agir de acordo com o *feedback* de dados fornecido pelo consumidor para aperfeiçoamento do produto: reclamações, garantias solicitadas, pesquisas de satisfação do consumidor, pesquisas de inspeção com usuários, revistas especializadas, imprensa, etc.;
- 7) Preparar sumários e *scorecards* relacionados à ergonomia incluindo suas forças, fraquezas, considerações de *trade-offs* e recomendações
- 8) Prover suporte dentro do processo de desenvolvimento do automóvel nas questões que surgem durante o processo;
- 9) No longo prazo, conduzir pesquisas, traduzir resultados de pesquisas em diretrizes de projeto, e desenvolver ferramentas de projeto para aplicações em futuros programas e projetos;

### **Processos de suporte de ergonomia durante o desenvolvimento do veículo**

De acordo com Bhise (2012), a maioria das companhias tem um processo de suporte de ergonomia bem desenvolvido que está sincronizado com o processo de desenvolvimento do veículo. Portanto, os ergonomistas devem entender o processo de projeto do veículo em termos de:

- Suas fases e atividades realizadas em cada fase;

- Áreas funcionais envolvidas em cada fase, estrutura da equipe, pessoas e métodos envolvidos nas diferentes atividades;
- Métodos de comunicação em equipe;
- Revisão da gerência e processos de aprovação.

O fluxo geral de um projeto de desenvolvimento de veículo começa com os usuários e termina com os usuários (BHISE, 2012). Nos estágios iniciais, mesmo antes da criação do projeto, as necessidades do consumidor são compiladas e analisadas pela equipe de projeto e planejamento de produto. Após o *Job 1*, o *feedback* do consumidor é continuamente buscado e revisado a fim de aperfeiçoar o automóvel, através da correção dos defeitos de produção e do planejamento de mudanças em futuros projetos de veículos. Por isso, o fluxo básico do desenvolvimento do produto envolve os seguintes passos, muitos dos quais são conduzidos simultaneamente (conhecido como engenharia simultânea cujo objetivo é reduzir tempo de execução para evitar retrabalho).

#### *Atribuições da ergonomia nos estágios iniciais do projeto*

Bhise (2012) apresenta algumas atribuições comuns aos ergonomistas nas etapas iniciais do projeto de desenvolvimento do automóvel:

1. Entender as necessidades do consumidor e traduzi-los em requisitos de projeto do veículo.

Os ergonomistas normalmente possuem as seguintes atribuições e demandas relacionadas ao consumidor e requisitos de projeto:

- Rever a carta-projeto: documento descreve as especificações e atributos do produto proposto;
- Avaliar as premissas do projeto, prever possíveis problemas de ergonomia e estudar feedback dos consumidores;
- Estudar e entender o segmento de mercado;
- *Benchmark* dos atuais produtos da empresa e da concorrência;

2. Desenvolver a comunicação com outras equipes do projeto.

A interface com outras áreas ocorre com freqüência para discutir *trade-offs* e chegar a *agreements* (explicado mais adiante). Algumas atribuições e exigências relacionadas a interface com equipes são:

- Entender a estrutura das equipes participantes do projeto suas funções;
- Realização de reuniões e procedimentos com outras equipes para resoluções de problemas;
- Desenvolver interface com outras equipes participantes do projeto de desenvolvimento.

### 3. Revisão de conceitos iniciais do automóvel.

O papel dos ergonomistas envolve analisar e aprovar o conceito inicial do veículo para dar prosseguimento ao processo, assim como as outras equipes técnicas e funcionais. Algumas das atribuições envolvem:

- Revisar esboços e modelos iniciais do veículo;
- Uso de mockups para identificar e resolver problemas relacionados a ergonomia: entrada/saída, *head clearance*, campo de visão (obstrução de objetos, para brisa), iluminação interna e externa, localização da entrada do combustível, abertura do porta-malas, carregamento/descarregamento, etc. ;
- Revisão do esboço/modelo tridimensional interior sob perspectiva da acomodação do motorista (posição do assento, localização dos olhos, controles, layout do painel instrumental) ;
- Conduzir análise do *packaging* inicial;
- Conduzir clínicas de pesquisa ao consumidor;

### 4. Aplicação de diretrizes e recomendações de ergonomia.

Os responsáveis pela ergonomia têm a função de verificar a aplicação das práticas determinadas pela empresa ou entidades de classe. As principais delas são relacionadas a:

- Posicionamento dos guias do assento (seat tracks) ;

- Localização do *eyellipse* (região do espaço onde se localiza os olhos da maior parte da população dos condutores) ;
- Alcance e *head clearance*;
- Visibilidade através do volante;
- Localização dos controles;

## **2.6 A cabine automotiva**

A cabine é a parte da estrutura de um veículo destinada basicamente à direção e a acomodação dos passageiros. O termo é de origem aeronáutica, definido como o espaço reservado ao piloto de avião (MUNIZ, 2009). No campo automotivo, o sentido da palavra é mais amplo estendendo-se a todo o espaço habitável do veículo, incluindo sua estrutura. Sob esse aspecto, a cabine compreende não só o espaço interno mas também toda a carroçaria a ela circunscrita.

Por motivos de segurança, a cabine é projetada para ser rígida e indeformável, envolvida por estruturas progressivas para amortecer os choques externos (MUNIZ, 2009). Dessa maneira resguarda-se o interior da cabine contra choques a fim de garantir a proteção dos passageiros. A propriedade de não deformação da cabine não funcionará corretamente se a estrutura interna não contiver a capacidade de deformação progressiva para garantir a absorção dos choques.

Uma das características da cabine de um automóvel é sua habitabilidade, definido como o espaço à disposição do motorista e dos passageiros em seu interior. Esse espaço é expresso não só pelo volume da cabine, mas principalmente pela disposição dos elementos internos.

O automóvel deixou de ser apenas um meio de locomoção, passando a dialogar com a casa e o espaço de trabalho, devido ao aumento das distâncias e do tempo que as pessoas permanecem dentro dos veículos. Segundo Larica (2003), é preciso pensar em um projeto que considere não somente a segurança, mas também a ergonomia, além da aplicação de materiais que sejam adequados ao caráter da habitabilidade, criando uma síntese mais homogênea de diversas características de um veículo: espaço interno livre; conforto dos bancos; a praticidade dos controles; o isolamento acústico; entre outros fatores.

O desenvolvimento adequado do interior do automóvel consiste na combinação inteligente das variações de qualidade e possibilidades, tais como: forma, textura, estilo, conforto, visibilidade, segurança, multiplicidade de uso, entre outros valores, criando, assim, uma atmosfera interior mais agradável.

## **2.7 Fatores que influenciam no projeto da cabine automotiva**

Para Muniz (2009), na construção de um veículo, vários fatores são considerados pelos projetistas para dar maior conforto ao motorista e aos passageiros. No caso do motorista, os problemas são mais complexos, pois, além da comodidade, torna-se também necessária a praticidade dos comandos.

O projeto do veículo deve transmitir ao motorista confiabilidade, garantindo que o veículo e seus componentes comportem-se de acordo com as especificações do seu funcionamento. Cada montadora possui um setor de controle de qualidade cuja função é examinar os componentes do veículo e analisar a sua fidelidade às especificações do projeto, de forma a certificar-se de sua confiabilidade, antes de passá-los a linha de montagem. Alguns exemplos incluem

- ✓ O estudo da redução dos desgastes ocorridos ao acaso, prevendo-se inclusive solicitações incomuns;
- ✓ A prevenção de danos motivados pelo desgaste, determinando o momento de substituição de alguns componentes.

Durante o projeto do automóvel, os fatores que mais influem no conforto de um carro são considerados, dentre os quais incluem:

- Vibrações,
- Solavancos,
- Alto nível de ruído,
- Ângulos assumidos junções do corpo,
- Climatização.

*Vibrações e solavancos*

As irregularidades das ruas e estradas produzem vibrações geradas sobre as suspensões do veículo; essas vibrações são transmitidas para a carroceria, diminuindo o conforto. Outras perturbações, provenientes das peças mecânicas, também incomodam os viajantes do veículo. O motorista pode perceber, também, as vibrações da direção e de outros comandos.

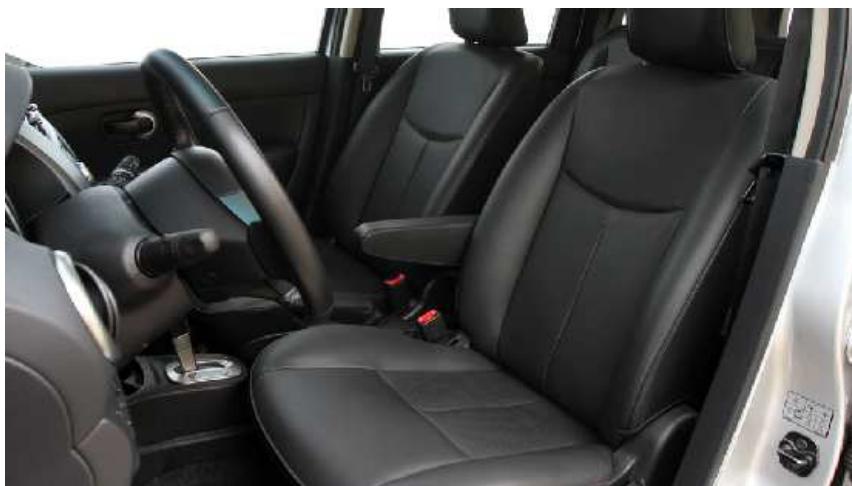
### *Ângulos assumidos pelas junções do corpo*

O banco é um dos componentes fundamentais no que se refere ao conforto interno do veículo. Estuda-se o banco do ponto de vista da fisiologia humana: as juntas do corpo devem formar ângulos que evitem o cansaço e dor. Para isso, os bancos geralmente possuem encosto regulável, o que ainda é insuficiente.

No projeto do banco deve-se levar em consideração, inicialmente, sua função específica no carro. O banco do motorista, por exemplo, deve necessariamente ser diferente dos passageiros, que ficam em posição mais relaxada do que quem dirige.

A posição ideal de dirigir é a que oferece ao motorista as melhores condições de visibilidade e de acesso aos comandos. O estudo dessa posição comporta também a definição do curso do banco, do ângulo de inclinação das guias, do assento do encosto, no caso de um banco fixo, os valores do curso dos comandos. Além de preencher essas condições básicas, o banco deve alojar de forma correta a coluna vertebral, principalmente a zona lombar e o trecho cervical, afim de evitar um estreitamento das faixas vertebrais, o que exigirá um esforço maior do sistema nervoso.

Na construção do banco devem ser adotados também, além dos materiais esponjosos, revestimentos com boa elasticidade, não escorregadios, que permitam boa transpiração. Atualmente, o uso de materiais esponjosos de densidade variável consegue resultados mais eficientes no amortecimento de oscilações.



**Figura 8: Assento do motorista pode incluir itens adicionais, como o apoio de braço na foto**

O conforto do motorista apresenta-se ainda mais complicado: a posição dos comandos, tais como volantes, pedais, etc. devem obedecer a um estudo ergonômico, de modo a permitir que os ângulos formados pelos membros se aproximem o mais possível do ideal. Nos veículos modernos, em que comandos tornam-se cada vez mais sofisticados, procura-se aumentar sua segurança e eficiência. Assim, são objetos de estudos ergonômicos e de avaliações técnicas sobre sua disposição e periculosidade em caso de acidente.

#### *Climatização e nível de ruído*

A climatização e o nível de ruído da cabine também são fatores importantes para o conforto. O ruído, além de ser incômodo, provoca, nas longas viagens, o “embotamento” dos reflexos, que é a insensibilização dos sentidos devido à sua prolongada exposição a altas intensidades, que às vezes leva a graves acidentes. Esse problema pode ser solucionado usando-se materiais anti-ruído e anti-vibração para minimizar o problema.

#### **2.8 A condução de veículos e a influência de vibrações**

Várias partes dos veículos de transporte constituem-se em fontes de vibrações (HOFFMAN, 2010). Diversos relatos sobre disfunções orgânicas associadas aos usuários de veículos de transportes apontaram para a ocorrência de dores na região lombar , mais conhecida como "patologia dos condutores de caminhões" (SCHERRER , 1967). Identificou-se nas aeronaves um fenômeno intitulado de "síndrome da classe

econômica", causado principalmente em virtude da construção de assentos compactos, que tendem a imobilizar os passageiros.

As freqüências de ressonância naturais do tronco situam-se entre 4 a 8 Hz, com maiores taxas de transmissibilidade para ambos os sexos (PEACOCK e KARWOWSKI, 1993). Nas diversas faixas de freqüências ocorrem problemas distintos:

1-4 Hz: dispnéias (dificuldades respiratórias).

3-4 Hz: ressonância na região cervical na posição sentada.

8-12 Hz: dores na região lombossacral.

20-30 Hz: ressonância na cabeça e nos ombros na posição sentada.

60-90 Hz:-ressonância nos olhos na posição sentada.

100-200 Hz: ressonância na mandíbula inferior na posição sentada.

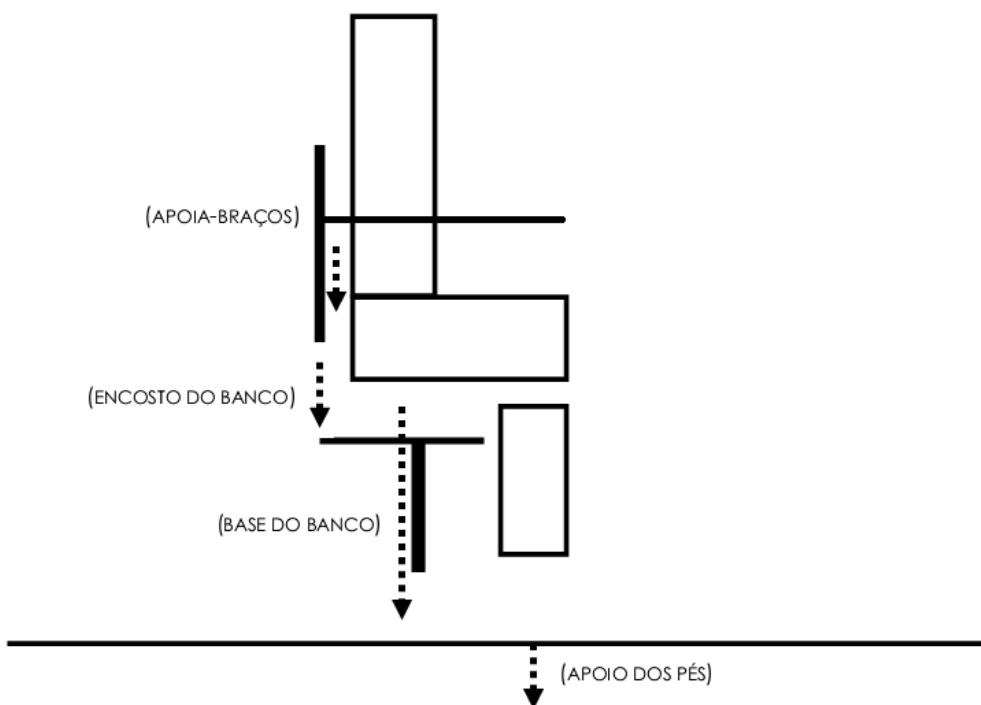
Estudos sobre assentos de veículos realizados por Bovenzi e Betta (1994) também apontaram vibrações ressonantes na faixa entre 2 e 6 Hz na região lombar da espinha, ocorrendo amplificações máximas em torno de 4 Hz (fatores de transmissão entre 1,6 e 2,4). Assentos de tratores apresentaram picos de aceleração em freqüências de 2,5 a 4 Hz. Estes estudos sugeriram que a coluna dos condutores poderia ser afetada pelas vibrações oriundas das condições operacionais dos equipamentos. A manutenção de posturas estáticas associadas a vibrações de corpo inteiro pode causar fadigas musculares excessivas e sobrecargas mecânicas na coluna .

Bovenzi e Betta (1994) ainda apontaram para a perigosa combinação entre vibrações e posturas sentadas e torcidas, referindo-se a estudos que demonstram a ocorrência de fadigas musculares evidenciadas por experimentos biodinâmicos, fisiológicos e a realização de eletro miografias. O corpo humano pode ser exposto a condições ambientais que o submetem a vibrações, que, associadas a posturas inadequadas, potencializam danosos efeitos ao organismo.

### **A influência das posturas inadequadas na saúde das pessoas**

Ilda (2005) informa que o tronco e os membros inferiores são responsáveis por cerca de 80% dos esforços para manutenção de posturas. Para Chaffin e Andersson

(1991), a postura sentada realiza-se com uma transferência de massa corporal para zonas de suporte, tais como a região da pélvis, os encostos e os apoiadores de braços da cadeira e também o chão. As tuberosidades isquiáticas (localizadas na região da pélvis) são cobertas por uma fina camada de tecido muscular e uma grossa camada de pele, suportando elevadas pressões (ILDA, 2005). Apesar da transferência de forças acima focada, a pressão nas vértebras lombares tende a ser muito elevada na posição sentada, e a região das coxas age como uma alavanca, a parte superior da pélvis apresenta movimento de rotação para trás e a posição do osso sacro modifica-se para a vertical. A coluna vertebral em lordose passa a ser reta ou apresenta cifose (curvatura acentuada para frente da parte superior da coluna) (GRANDEJEAN, 1998).



**Figura 9: Sistema de forças verticais pelos componentes da cadeira e pelos pés (adaptado de CHAFFIN e ANDERSSON, 1991)**

Estudos realizados por Bovenzi e Betta (1994) com condutores de tratores apontaram os efeitos da manutenção de posturas inadequadas durante a realização dos trabalhos e outros fatores que provocam problemas na região da espinha dorsal. Avaliações da atividade muscular de condutores após um período de 3 horas no posto de trabalho detectaram maior fadiga nos músculos eretores da espinha dorsal em comparação com grupos de controle.

Os autores destacaram ainda a existência de excessivos riscos para a ocorrência de dores ciáticas em razão de acidentes anteriores ao avaliar operadores de máquinas, carpinteiros e trabalhadores de escritórios. Pessoas que permanecem pouco tempo sentadas (exceto por curtos períodos de tempo) apresentam períodos mais longos de ausência de sintomas, após o estabelecimento de sofrimentos agudos na região baixa da coluna dorsal (CHAFFIN e ANDERSSON, 1994).

Tais autores constataram que os condutores profissionais que permanecem longos períodos diários no volante estariam sujeitos a maiores riscos de ocorrência de hérnias nos discos lombares, e apontaram uma relação entre lesões de disco e longas jornadas em automóveis.

Diversas situações contribuem para agravar os problemas na espinha dorsal, sendo os fatores abaixo relacionados citados por autores tais como:

- Imobilização de posturas
- Frio excessivo
- Vibrações
- Fadigas de diversas naturezas
- Gênero humano (mulheres tendem a ser mais predispostas aos problemas citados)
- Fatores psicológicos, tais como tensão excessiva, desprazer no trabalho.
- Consumo de álcool e drogas
- Jornadas de trabalho excessivas ou alternadas em turnos
- Pressões excessivas no trabalho

### **Recomendações**

Considerando-se as recomendações apontadas por diversos autores no sentido de evitarem-se problemas para pessoas que permanecem muito tempo sentadas, Hoffmann (HOFFMANN, 2010) articulou uma série de cuidados necessários para estabelecerem-se projetos adequados em termos da perspectiva ergonômica, apontando para as seguintes recomendações:

### *Altura dos assentos*

Recomenda-se sentar em valores de altura que não sejam extremos, nem muito baixos nem muito altos, desta forma a altura do assento deveria ser ajustável com amplo grau de ajuste. Assentos muito baixos diminuem o ângulo de flexão, fazendo com que o peso do tronco seja transferido para a superfície do assento em uma pequena área nas tuberosidades, assentos mais elevados causam maior inchaço nas pernas. Quando assentos são muito elevados os pés não encostam no chão, pressionando-se as coxas, causando desconfortos.

Os apoios para a coluna dorsal reduzem a pressão exercida nos discos intervertebrais, colocando a musculatura para vertebral em repouso (COUTO, 1995). Seu formato deve ter uma forma que acompanhe as curvaturas da coluna sem retificá-la, mas sem acentuar suas curvaturas. Estudos de radiografia mostraram que as posições sentadas com suporte para as costas tiveram menor estresse no disco lombar . O aumento da lordose na coluna vertebral obtida pelo uso de apoios dorsais reduz a pressão intra-discal (entre os discos da coluna vertebral).

A inclinação dos suportes para a coluna diminui a pressão dos discos, especialmente quando se aumenta o ângulo do suporte da vertical para 110 graus. Medidas da atividade muscular mostraram que o aumento do ângulo do apoio da coluna é significativa para a saúde na região lombar, torácica e cervical (HOFFMANN, 2010).

### *Recomendações para a configuração do apoio para coluna*

Hoffmann (2010) faz as seguintes recomendações para a configuração do assento para automóveis:

- I. Os encostos não devem diminuir os movimentos dos ombros e os movimentos dos braços;
- II. a parte inferior do encosto deve ser convexa ou vazada no sentido de acomodar a curvatura das nádegas;
- III. A dimensão ântero-posterior do assento não pode ser nem muito comprida nem muito curta para que as coxas fiquem completamente apoiadas, sem compressão da região posterior dos joelhos. A região posterior das coxas (fossa poplítea) é um

ponto de grande vulnerabilidade à compressão, nesta região passam artérias, veias e nervos.

As dimensões deveriam ser ajustáveis para atender diversos tipos de pessoas (HOFFAMNN, 2010). O ângulo da posição do apoio para a coluna são fatores tão significativos que uma pessoa apoiada com ângulos entre 110 a 120 graus, suplementados por um suporte lombar de 5 cm, apresentam pressões dos discos que podem ser até menores do que uma postura ereta com lordose da região lombar.

Por outro lado, o Sintrejur (SINTREJUR, 2013) afirma que ideal é elevar o encosto do banco de 100 a 110 graus em relação ao assento. Em carros com encostos mais retos, aconselha-se usar um travesseiro fino na região lombar para ter mais apoio e o encosto do banco deve ser inclinado um pouco mais à frente.



Figura 10: Posição correta de direção. Adaptado de [www.sintejur.com.br](http://www.sintejur.com.br)

### *Pernas e pés*

A distância do banco em relação ao pedal deve permitir que o joelho fique levemente flexionado a ponto de o motorista não precisar fazer movimentos com o quadril, e ficar não tão perto a ponto de fazer o joelho ficar muito dobrado (BIAZIN, 2013).

A parte posterior do joelho, local de passagem de muitos vasos, não pode ficar encostada no banco, sob o risco de dificultar a circulação sanguínea. O joelho deve estar levemente acima da posição do quadril. O calcanhar deve estar pousado no solo.

### *Braços e mãos*

A distância do tronco em relação ao volante deve permitir que o braço fique levemente flexionado. A posição das mãos no volante também deve receber atenção. Recomendando um ângulo de 150-170 graus entre o braço e antebraços (BIAZIN, 2013).

No entanto, ficar muito tempo neste estado faz os braços começarem a doer (BIAZIN, 2013). Por isso recomenda-se mudar de posição e soltar o braço ao lado do corpo eventualmente, sem soltar as mãos do volante. Para isso podem ser usados os apoios de braço na porta e as mediais dos carros. Desse modo, o motorista consegue relaxar os ombros e continuar tendo o volante na mão.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Metodologia**

A coleta de dados ocorreu por entrevistas realizadas com responsáveis pela área de ergonomia e de projetos da Chevrolet, através de entrevistas realizadas por telefone e correio eletrônico. O presente trabalho também conta com o uso do laboratório de TTO, através de simulações e estudos realizados pelo software de ergonomia RAMSIS (discutido mais adiante), utilizado tanto pela GM quanto outros projetistas de automóveis para realização de análises ergonômicas.

O autor manteve contato direto com representantes comerciais e de suporte do RAMSIS, localizados na Alemanha. Foi necessário um intercambio constante de informações para realizar a configuração e instalação correta do software, a solicitação instruções de uso e suporte a duvidas. O RAMSIS trata-se de um software complexo que exige alta capacitação técnica para seu uso e entendimento, e não havia nenhum tipo de suporte no Brasil no momento em que este trabalho foi realizado. A equipe do RAMSIS também providenciou acesso a diversos materiais importantes para este

trabalho restritos aos assinantes e usuários, incluindo diversos estudos relacionados a ergonomia e projetos de automóveis. O presente contou principalmente com bibliografias internacionais a respeito de projetos de automóveis e ergonomia, além de manuais técnicos automotivos.

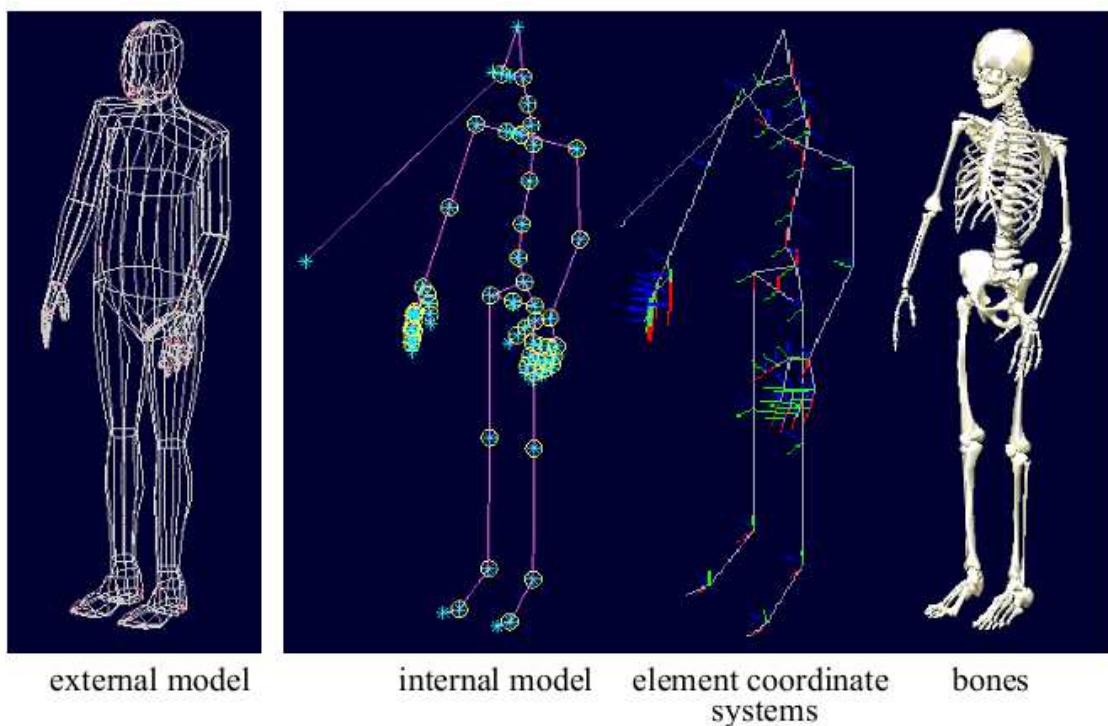
O autor também elaborou um *framework* que serve como base para elaborar questionários a motoristas a fim de obter avaliação ergonômica diretamente dos usuários de veículos. A partir deste framework o autor elaborou um questionário-teste para verificar seu desempenho em campo, aplicado a uma amostra de 10 usuários freqüentes de automóveis.

### **3.2 Materiais**

#### **RAMSIS**

RAMSIS é um software de aplicação ergonômica que fornece aos usuários um extenso conjunto de funções de simulação e análise relacionadas a visão, movimentos, postura e análise de conforto. Obstruções de visão podem ser detectados visualmente e analisados da perspectiva de visão do manequim ou geometricamente calculando cones de visão.

O RAMSIS representa o ser humano através de um manequim, formado por um esqueleto interno revestido por uma pele externa. Tal manequim cumpre a função de estrutura/molde e é também o modelo cinemático que leva em consideração os movimentos humanos no cálculo de postura/posição mais provável. O movimento do modelo é sempre realizado pelo modelo interno, mantendo o controle sobre número de graus de liberdade e dando mais naturalidade aos movimentos. As juntas individuais (cotovelos, ombros, joelhos, etc) são levados em conta de maneira especial na simulação cinemática e estática. O modelo externo da superfície do corpo (pele) determina a aparência visual, sendo também composto por superfícies/ pontos de contato que servem como coordenadas e pontos de referência na hora de delinear a simulação.



**Figura 11: Layouts do modelo humano RAMSIS (RAMSIS, 2013)**

O manequim do RAMSIS visa simular o comportamento de um corpo humano. O esqueleto preserva os movimentos reais de suas articulações e juntas. Suas medidas são configuráveis, que podem ser ajustadas de acordo com o sexo, altura e peso do indivíduo dentre outros atributos. Sua superfície possui pontos de referência manipuláveis que servem como coordenadas absolutas/relativas do plano cartesiano, além de facilitar a montagem do manequim em sua posição desejada. As partes do manequim (esqueleto, pele, etc) possuem pontos de referência cuja função é auxiliar sua manipulação e posicionamento dentro do modelo tridimensional.

Além do manequim, o RAMSIS permite a criação, importação e uso de outros modelos externos que interagem com o manequim, como poltronas de aeronaves, cabines automotivas, motos, uso de cinto de segurança, etc. Normalmente modelos externos do veículo ou parte dele são desenvolvidos em outros softwares de design (CAD) e são posteriormente importados para o RAMSIS.



Figura 12: Modelos de assentos importados de softwares externos (Catia)

O software traz alguns modelos de cabines automotivas pré configuradas, principalmente carros alemães como BMW e Volkswagen. Os modelos podem ser construídos internamente utilizando-se as próprias ferramentas do Ramsis ou podem ser importadas de outros softwares CAD como Autocad e Catia., sendo o caso mais comum devido ao fato do RAMSIS não ser tão eficiente em projetar modelos virtuais de carros.

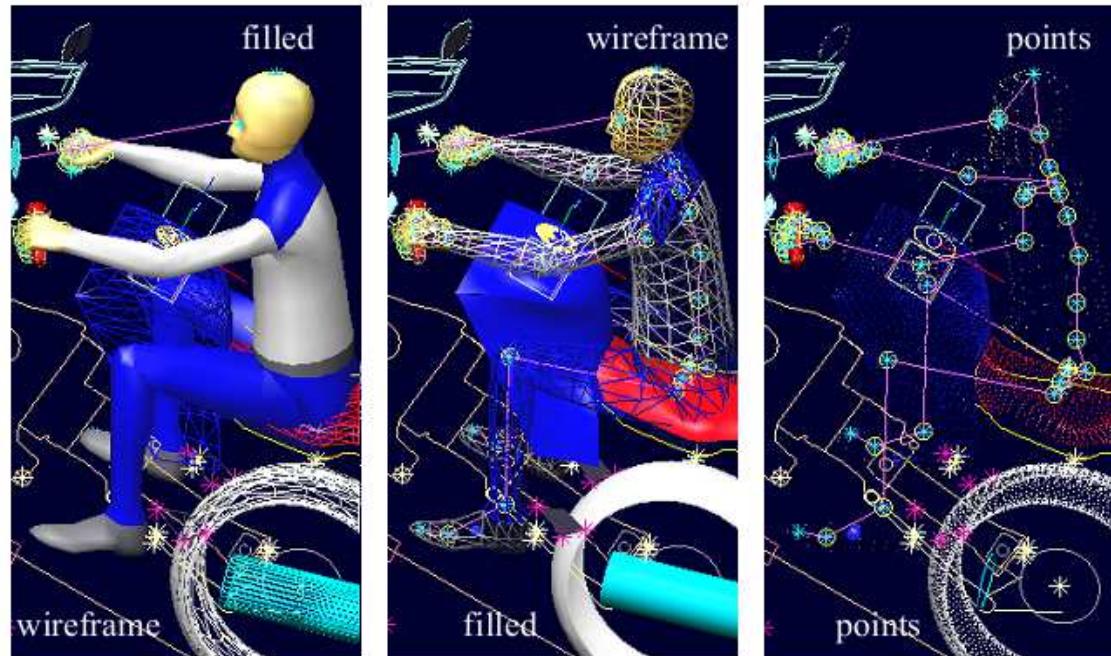


Figura 13: Tipos de superfícies (RAMSIS, 2013)

O software ainda traz outras configurações de fábrica relacionada às características do ser humano, como por exemplo a posição do manequin (em pé, sentado, posição de dirigir com as mãos no volante, etc). No entanto ajuste para a posição é necessário na maioria dos casos, a fim de acomodar o manequin na posição/no objeto desejado.

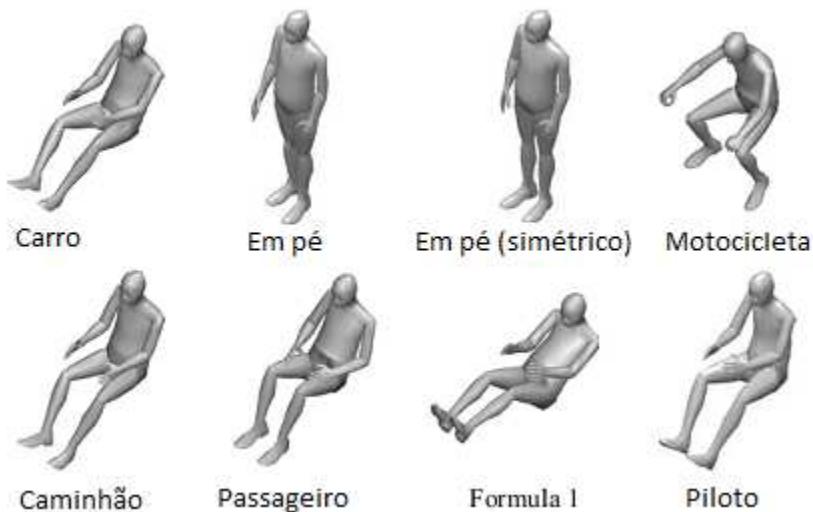


Figura 14: Posturas pré configuradas (RAMSIS, 2013) TRADUZIR

O manequin é “*customizável*” de acordo com o biotipo desejado. Dependendo da versão o software possui um banco de dados interno, com medidas e estrutura corporal classificadas por região ou países, como Europa, Alemanha, América Latina, etc. O banco de dados também pode possuir a distribuição populacional, baseada em pesquisas internas e fontes externas.



Figura 15: Distribuição de altura da população alemã (adaptado de RAMSIS, 2013)

A empresa responsável pelo RAMSIS (chamada Human Solutions) possui um extenso banco de dados de estudos antropométricos de diversa regiões do mundo. As pesquisas são realizadas continuamente para ampliar as informações e manter os valores atualizados. Os dados se encontram em conjunto com o software, dispensando a necessidade de configurar manualmente cada manequim de acordo com a antropometria desejada.

O teste de valores extremos é importante para avaliar a viabilidade do projeto do veículo. Podem-se citar uma mulher asiática e um homem nórdico como extremos de altura e comprimento dos membros. Mesmo que um veículo seja projetado para uma região específica, é necessário conhecer a distribuição das medidas da população (figura anterior como exemplo) para incluir parcela considerável da população nos projetos de automóveis.

## Altura Corporal por região

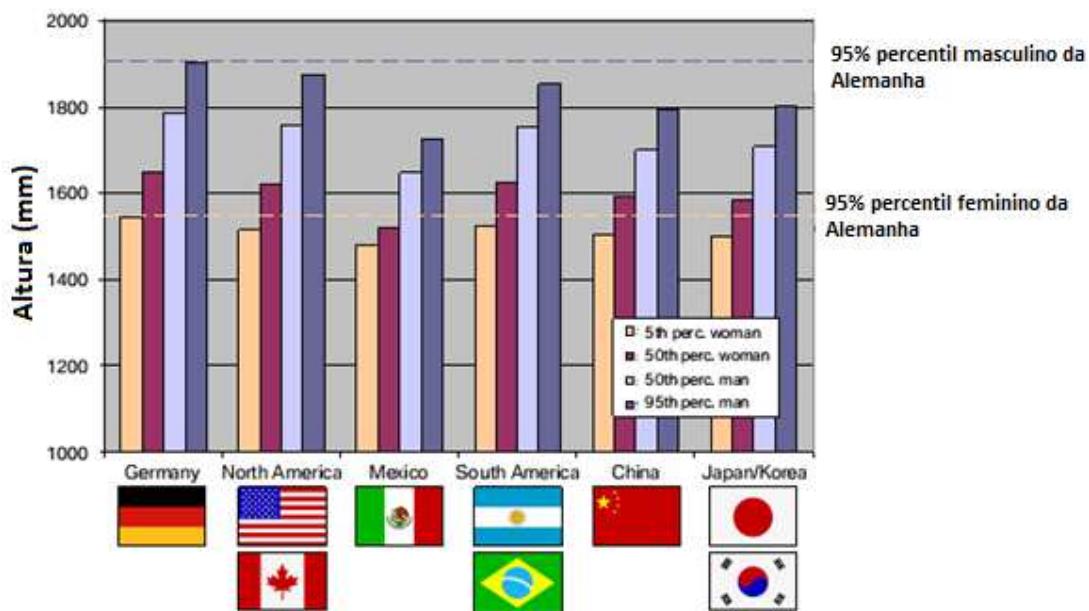


Figura 16: Percentis da distribuição de altura em diversos países (adaptado de RAMSIS)

O modelo é configurável nos seguintes aspectos:

- Região
- Sexo
- Peso
- Altura

Tais parâmetros são configuráveis no menu de configuração do manequim. Após a escolha dos parâmetros as medidas específicas também podem ser configurados.

Após o ajuste do manequim na posição desejada, RAMSIS pode realizar diversas análises, dentre as quais:

- Qualidade de visualização do motorista/passageiro (espelhos)
- Distâncias (da cabeça ao teto, do pé ao chão, etc)
- Ângulos de articulações (ex: joelho, cotovelo, ombros)
- Análise de conforto
- Alcance máximo dos membros
- Cálculo de forças

A análise de conforto mede a sensação de desconforto nas principais regiões do corpo. Após o posicionamento do manequim o software tem a opção de realizar a avaliação de conforto. Tal análise leva em conta:

- As distâncias entre as partes do corpo/ objeto de contato
- Os ângulos formados pelas principais articulações do corpo
- A posição adotada pelo manequim

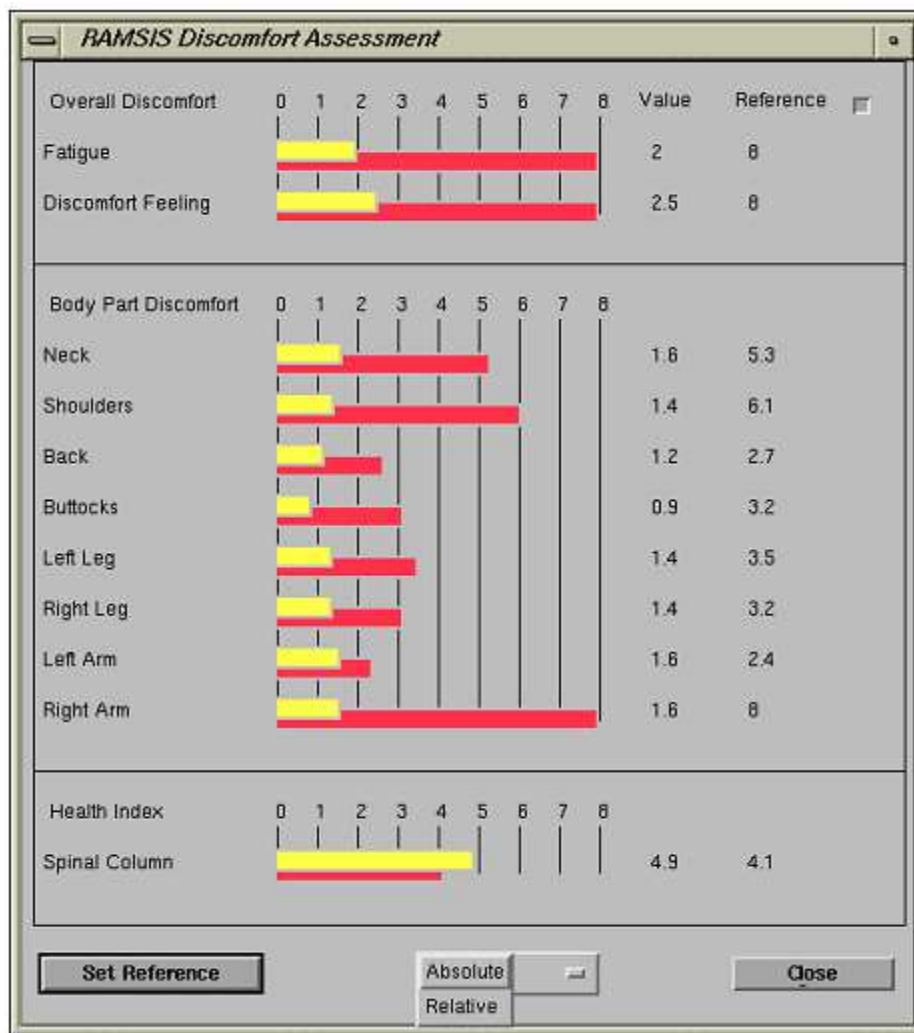


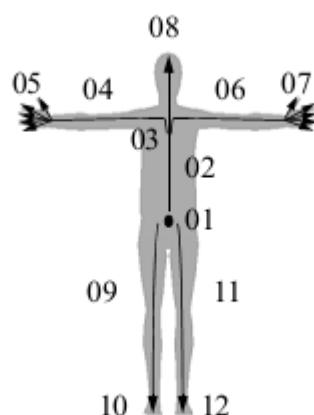
Figura 17: Análise de desconforto gerado pelo RAMSIS

### O modelo básico-cinemático

A base do modelo computacional RAMSIS é um modelo humano geométrico e cinemático. Em outras palavras, o software busca reproduzir as propriedades cinemáticas

do corpo humano da maneira mais realista possível (movimento das articulações, movimentos transversais, etc). O desenvolvimento do software baseou-se intensamente no estudo de movimentos reais.

O esqueleto também é parte importante pois os movimentos são baseados nele. O esqueleto, por sua vez, é revestido por uma pele externa similar à pele do ser humano para dar mais verossimilhança ao manequin. As características físicas desejadas do manequin também são incorporadas à pele externa, de acordo com o biotipo definido (altura, gordura corporal, tamanho das partes do corpo, etc). Para representar as propriedades cinemáticas dos seres humanos, a base do manequin do RAMSIS é construída por um ‘árvore cinemática’. A árvore cinemática são pontos de referência principais do manequin, sobre a qual é construída todas as outras características e partes do manequin. Tais pontos também servem como base para se trabalhar a posição desejada e são interligados por linhas cheias, lembrando uma espécie de árvore.



**Figura 18: Vista Frontal da árvore cinemática (RAMSIS, 2013)**

Os graus de liberdade de movimentação nesta árvore cinemática buscam corresponder aos graus de liberdade (movimentação) de um ser humano real. O grau de liberdade “x” corresponde à torção do elemento do corpo proveniente da junta de ligação. Os graus de liberdade restantes são atribuídos a movimentos de articulações individuais naturais.

A estrutura de árvore cinemática garante que as posições de todas as juntas que se encontram além do conjunto rastreado sejam considerados na análise quando essa

articulação é animada. Em outras palavras, tal estrutura permite as articulações do corpo inteiro sejam levadas em conta na hora da análise cinemática do manequim e sua interação com o ambiente (veículo, assento, objetos dentre outros).

O ponto principal da árvore cinemática, ou o centro dele, é o *chamado 'hip-center'* ou *H-point* (ponto número 01 na figura), considerado como o centro referencial do manequim. Situa-se aproximadamente na junção da coluna vertebral com a bacia. O hip-center é um dado de entrada importante para a execução das diversas análises do software, dentre elas a análise de conforto.

O *hip-center* também é muito utilizado na indústria automotiva, sendo usado para especificação de assentos para fornecedores, por exemplo. A partir desse ponto também costuma-se construir todos os referenciais sobre os quais serão analisados os desempenho ergonômico do veículo durante a fase de projeto. A partir deste ponto, por exemplo, define-se os extremos da população (geralmente uma população distribuição estatística normal, tomando uma amostra de 95%, desconsiderando os 2,5% extremos) que serão considerados no critério do projeto.

### *H-point*

O *H-Point* é um ponto do esqueleto virtual localizado na região próxima ao centro do quadril (este denominado *hip-center*). Ele é uma referência importante para projetos do veículo, simulações virtuais e especificações técnicas para fornecedores. O H-Point é o ponto de referência padrão para pré-ajustar a postura do manequim no RAMSIS.

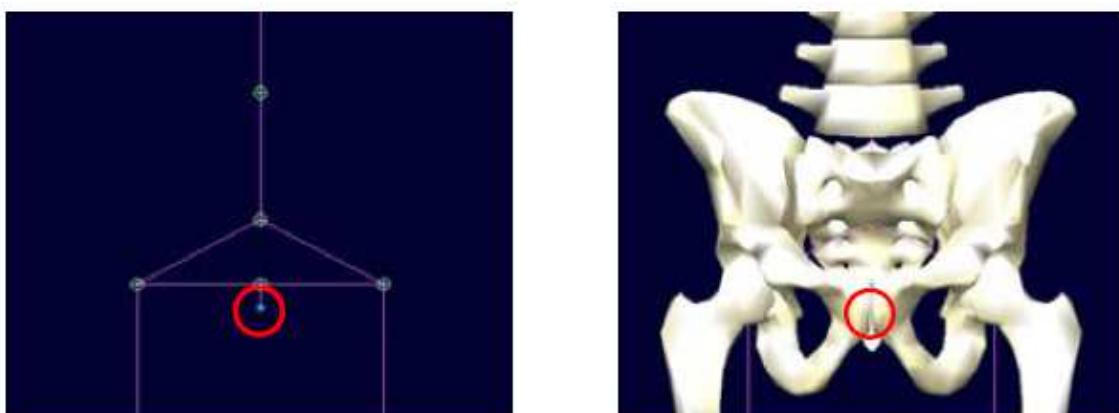


Figura 19:Localização do *H-Point* no manequim

## **Elementos do modelo padrão**

O esqueleto e a pele do modelo RAMSIS são divididas em regiões para facilitar a simulação cinemática. Muitas dessas regiões correspondem diretamente às partes da anatomia humana (por exemplo, cabeça, coxa, pé). Outros elementos combinam-se em peças anatômicas do corpo que não podem ser tratados como componentes cinemáticas distintas do modelo (parte inferior da coluna lombar como um dos casos). A coluna vertebral, por exemplo é representado simplificadamente em seis elementos (partes) foi a solução ótima encontrada pela empresa para equilibrar a demanda pela simulação cinemática correta (mais próxima ao comportamento real do ser humano) e o desempenho de cálculo postural.

A linha de visão é tratada como um elemento de corpo virtual proveniente do olho como uma virtual. É independente da antropometria e tem um comprimento variável.

### *Estrutura da pele*

A pele do manequim é composta por aproximadamente 1200 pontos de controle que estão parametrizados de acordo com o esqueleto do modelo, com a antropometria e postura definidos pelo usuário. A pele é representado por múltiplas linhas baseadas nos pontos de controle e, enquanto pontos de pele podem ser selecionados para animação e análise de funções, as linhas de pele servem primordialmente como guias de visualização. As linhas da pele também são usados para seleção de superfícies de pele.

### *Skin surfaces (superfícies da pele)*

Pontos da pele muitas vezes revelam-se insuficiente para certas finalidades como “alvos” para ajustes de posição e restrições de superfície (mais conhecido como constraints em desenhos 3D), em definições de tarefas e análise de distância. Para estas funções, as superfícies da pele foram disponibilizados ao invés de apenas pontos. Em geral, a pele que cobre um elemento de corpo é definido como uma única superfície da pele. Estas superfícies de pele são subdivididos em até três camadas de pele, que em muitos casos se sobrepõem. As superfícies progenitoras principais), bem como as superfícies adicionais estão disponíveis como as partes do corpo para definir a superfície limite e restrições (constraints) alvo e analisar distâncias. A superfície da pele é selecionável a partir da linha da pele sobre o elemento do corpo.

### *Avaliação de posturas*

O recurso adicional mais complexo se refere à avaliação da postura do manequim com relação a diferentes aspectos. Neste contexto, o principal modelo torna possível calcular a probabilidade da postura atual do manequim em comparação com todas as posturas de um motorista que são consistentes com uma dada situação/posição. Ao utilizar este modelo no cálculo de postura certifica-se que a postura do piloto mais provável seja encontrada. Assim, este modelo é crucial para dar as posturas corretas e objetivas do manequim.

Outros dois modelos podem ser usados para calcular a avaliação ergonômica dos índices de postura calculado pelo movimento automático. Estes são:

- Modelo de conforto postural
- Índice de saúde da coluna vertebral

Os dados para o modelo de conforto postural foram extraídos de extensas medições pela Universidade Técnica de Munique e pela Universidade Técnica de Eichstätt. A avaliação de saúde para a coluna se baseia em descobertas científicas em relação aos mecanismos de danos aos discos vertebrais. Os valores de ambos os modelos de saída são medidos em uma escala de 0 a 8, com conforto cada vez pior com o aumento de valor. Uma vez que uma mudança de escala absoluta dos valores de saída está em falta, não é possível avaliar certos valores como sendo tolerável ou intoleráveis. Portanto, ambos os modelos poderiam ser usados como um meio para a comparação de diferentes posturas do manequim.

## **4. APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE**

### **4.1 Ergonomia na GM**

De acordo com a GM, a ergonomia é uma disciplina essencial no processo de desenvolvimento e manufatura do automóvel, aplicado tanto nas fases de projeto/desenvolvimento quanto nas etapas de manufatura (peças e automóveis). A ergonomia em projetos é responsável pela análise e implementação de critérios e parâmetros nos projetos de automóveis enquanto a ergonomia de manufatura é voltada para aplicação nos processos de manufatura de peças e de montagem do veículo.

Existe uma área denominada *Human Factor Center* que é responsável pela ergonomia dentro da GM, dentre outras atribuições. Uma das atribuições é realizar pesquisas de ergonomia de diversas naturezas: Análise antropométrica, biomecânica, melhores práticas de mercado, P&D, etc. Tal área faz interface com as diversas áreas, dentre as quais as diversas engenharias de produto dentro da GM, a fim de determinar e analisar critérios de ergonomia e analisar a adequação dos componentes, subsistemas e subsistemas aos requisitos de ergonomia. Existe a negociação entre a área de ergonomia e as engenharias de produto para se chegar a um acordo a respeito de conflitos de projeto, denominados *Agreements*.

A engenharia na GM é dividida em subgrupos de pelo critério de produtos. “Produto” refere-se a um agrupamento de componentes relacionados de maneira lógica, que visa facilitar seu desenvolvimento e gerenciamento durante o PDA. Os grupos são geralmente agrupados por sistemas: sistema elétrico, sistema de propulsão (conjunto eixo/motor/transmissão/rodas), dentre outros. Os grupos são por sua vez divididos em subgrupos até chegar ao nível de especialização técnica necessária. Por exemplo, a engenharia de produto responsável pelo sistema de propulsão (*Powertrain System*) é divido em especialistas de motor e transmissão, dentre outros.

De acordo com a estrutura atual da empresa, a engenharia de cada produto fica responsável pela avaliação ergonômica de seu próprio produto. Assim, o responsável pelo sistema de abastecimento é responsável pelos testes de ergonomia da atividade de abastecimento, devendo certificar-se de que, por exemplo, a tampa possui área de pega suficiente para pessoas com mão grande, ou que usam luvas para aquecimento (nas regiões frias).

A estrutura descentralizada de ergonomia conta com uma área técnica central responsável pela ergonomia do veículo, denominada *Human Factor Center*. Tal estrutura organizacional segue um padrão matricial, no qual cada área de produto trabalha com certa liberdade dentro dos padrões de ergonomia estabelecidos pela área de “Fator Humano”.

Muitas vezes existe a necessidade de resolver conflitos entre as duas áreas. Por conflito entende-se a situação em que há *trade-off* entre o desempenho ergonômico e desempenho de outros fatores, tais como custo ou viabilidade técnica. Tal situação é freqüente no PDA devido à restrições de diversas naturezas, como custo, espaço interno

limitado, capacidade da manufatura, manutenção (*servicing*). A resolução formal de conflitos entre a área técnica de ergonomia (*Human Factor Center*) com as diversas engenharias do produto é denominada *Agreements*.

A empresa possui um grande banco de dados centralizado denominado *Best Practices of GM* em que são armazenadas as melhores práticas de projetos de automóveis, incluindo práticas de ergonomia.

A GM, assim como a maioria das montadoras, adota as recomendações da SAE em seus veículos, que ainda não são obrigatórios, mas são adotados por praticamente todas as montadoras por uma questão de exigência dos consumidores e padrão de mercado. A exigência de tais aplicações varia de país para país; na Europa, por exemplo, as exigências de certas aplicações são mais rigorosas, e os automóveis devem cumprir uma série de especificações mínimas de ergonomia emitidas por uma autoridade local especializada.

## 4.2 O Processo de Desenvolvimento do Automóvel

O Processo de Desenvolvimento do Automóvel, também conhecido como *Time to Market*, sintetiza as atividades de projeto e teste do veículo, incluindo o *setup* do seu processo de produção necessário à manufatura do produto. O nome pode variar de acordo com a empresa, mas o conceito é essencialmente o mesmo.

O *time-to-market* é um dos 3 processos-chave do processo automotivo da criação e um veículo. Os outros dois são o *Time-to-Customer* (que começa com a solicitação do automóvel pelo cliente e termina com a entrega do veículo ao consumidor) e o *Time for Service Process* (que começa com a entrada do veículo nos serviços oferecidos pela concessionária/fabricante e termina com a saída do consumidor saindo com seu veículo em ordem).

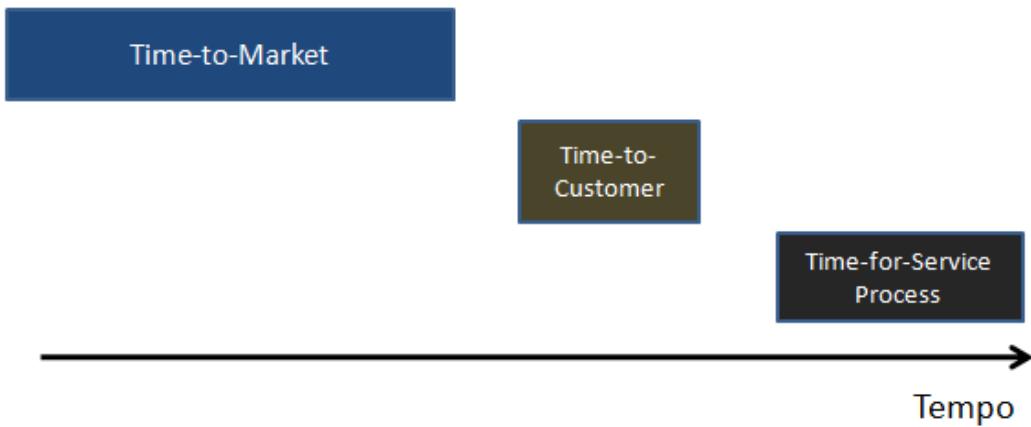


Figura 20: Principais processos automotivos ao longo do tempo

A ergonomia de projetos insere-se no processo do *time-to-market*, que se trata de uma grande cadeia complexa de processos que culminam no lançamento de um veículo no mercado. Tal processo pode levar anos (caso e trate de um conceito inovador de veículo) para ser executado, ou alguns meses dependendo da complexidade do projeto e grau de inovação. As aplicações das análises de ergonomia concentram-se na fase de projetos, já que após o lançamento do veículo pouco pode se fazer para reparar os defeitos de projeto do carro, podendo ser um processo custoso ou inviável para a empresa. Os requisitos de ergonomia são levantados e aplicados principalmente na fase de projeto, que busca analisar antecipadamente o projeto do veículo antes de dar sua aprovação no andamento para as próximas fases.

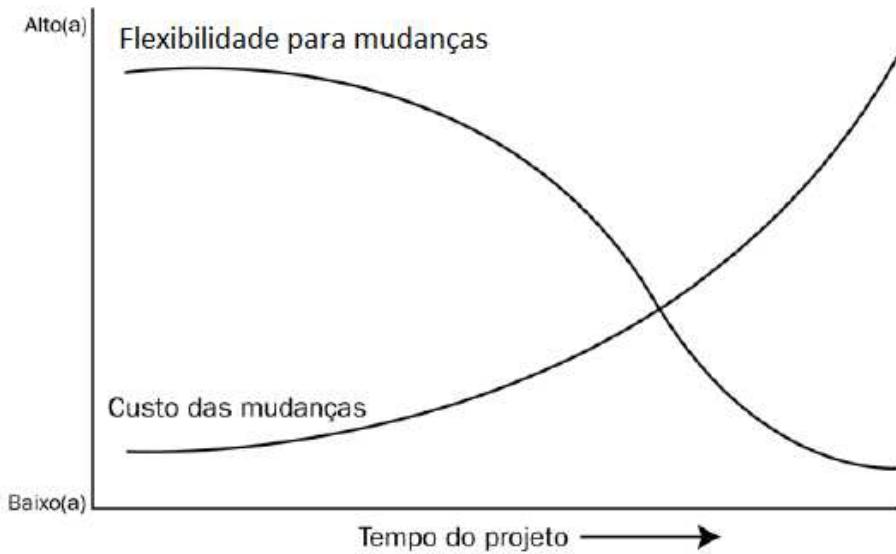


Figura 21: Gráfico Custo x Tempo de projeto

### Fases do Processo de Desenvolvimento

A primeira tarefa a ser realizada no desenvolvimento de um novo veículo é a criação/adoção de uma estratégia do produto, tratando-se em decidir genericamente quais conceitos de carros a companhia deve trazer para o mercado e em que momento. Criar ou atualizar a estratégia do produto representa um processo de planejamento contínuo de longo prazo, sob os quais são iniciados os diversos projetos ou programas de veículos.

Paralelamente à estratégia do produto ocorre o processo de pré-desenvolvimento, que se trata de outro processo relacionado à pesquisa e desenvolvimento, de componentes à tecnologia aplicada à indústria automotiva (peças, processos, etc.). As idéias inovadoras são obtidas de diversas fontes:

- Pesquisa interna e externa;
- Fornecedores;
- Parceiros e consumidores;

Tais idéias são mais desenvolvidas posteriormente e avaliadas de acordo com critérios de viabilidade técnica e comercial no quesito de aplicação a produtos ou processos de produção. A decisão de qual carro receberá a inovação pré-desenvolvida é decidida de acordo com a estratégia do produto.

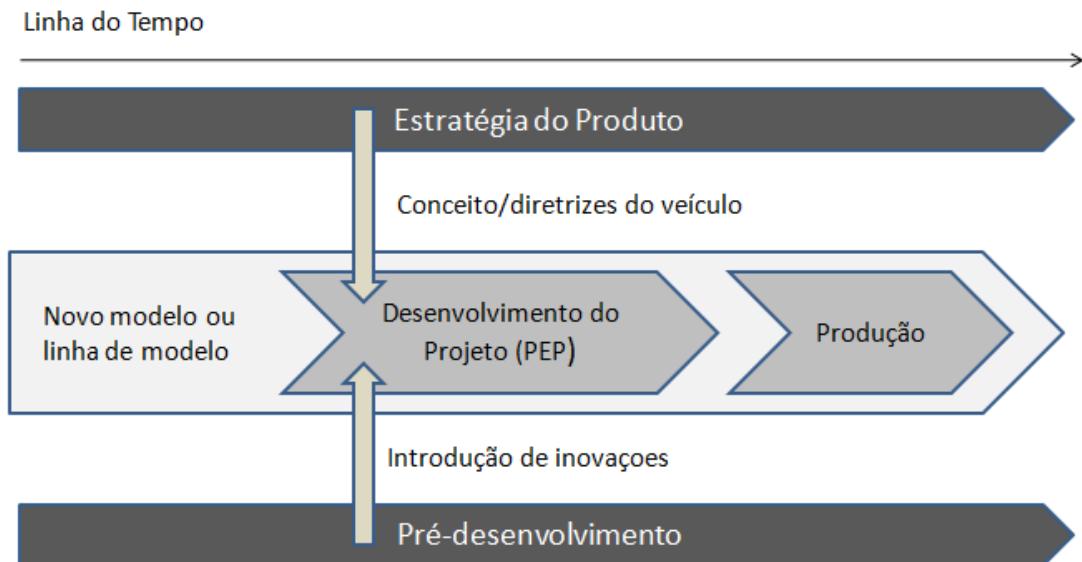


Figura 22: Modelo genérico de um processo de desenvolvimento de projeto de veículos

Tanto a estratégia do produto quanto o pré-desenvolvimento são processos contínuos, portanto não são fases do projeto. Quanto ao Processo de Desenvolvimento do Automóvel a estrutura pode ser dividida essencialmente em três fases:

- Fase inicial
- Fase de concepção
- Fase de desenvolvimento em série

Na fase inicial ocorre a elaboração e apresentação do plano de negócio à diretoria da organização. Caso seja aprovado, inicia-se a fase de concepção do veículo, em que são definidos e negociados acordos de especificações técnicas entre os gerentes e projeto e engenheiros, respeitando o orçamento do projeto, alocando as diversas atividades do projeto seguindo as diretrizes estabelecidas pelo mesmo. Com o fim da fase de concepção inicia-se a fase de desenvolvimento em série, que consiste na fase de *setup* para a fabricação em massa do carro, de acordo com as negociações/objetivos definidas na fase de concepção. Após a realização completa da preparação para produção em série, dá-se início à sua produção

A estratégia do veículo cria a visão do automóvel que se deseja desenvolver, sendo a etapa inicial do Processo de Desenvolvimento. Com a definição da estratégia, inicia-se o desenvolvimento de projetos formais do veículo.

O PDA pode ser definido como um grande e principal macroprocesso do desenvolvimento completo de um veículo, a ser lançado no mercado. O PDA é geralmente estruturado em três principais fases, como citado anteriormente. Na fase inicial ocorre a elaboração e análise do plano de negócio do automóvel, tendo como objetivo principal a análise da viabilidade técnica e econômica. Sua aprovação formal pela diretoria define o início da próxima fase.

Na fase conceitual ocorre a concretização das diretrizes do plano de negócios através do detalhamento de um conjunto consistente de requisitos (*targets*). A fase seguinte, a de desenvolvimento em série, incorpora todas as atividades de *setup* para a produção em série do veículo através de uma linha de montagem.

### **Fase Inicial**

Na fase inicial, o perfil do veículo é criado de acordo com as diretrizes da estratégia do produto, que são concretizadas em *Target Frameworks*. *Target Frameworks* são o conjunto de requisitos técnicos mais amplos do veículo, que servem como base sobre o qual serão desdobrados uma série de especificações que chegarão ao nível de componentes/peças dos veículos.

Os *Target Frameworks* são avaliados por um modelo de avaliação chamado *Target Framework Evaluation*. Neste modelo avalia-se a viabilidade técnica e econômica como um todo, através de diversas perspectivas:

- Alinhamento com a proposta de marketing do automóvel
- Características do veículo proposto
- Funcionalidades técnicas
- Recursos necessários (equipamentos, RH, tecnologia)
- Inovações introduzidas (diferenciação do produto)
- Requisitos de Produção/montagem
- Necessidade de serviços
- Qualidade oferecida

Nesta fase também ocorre as propostas de projetos de automóveis, também chamados de anteprojetos. A estrutura (ou esqueleto, chamado de *body* em inglês) do veículo é concebida pela equipe de design, juntamente com os principais componentes/sistemas responsáveis pela sua funcionalidade e seu posicionamento dentro do automóvel (atividade denominada *vehicle packaging*). São realizados diversos esboços/rascunhos do design do interior e exterior do veículo em questão.



Figura 23 Projeto de *body car* de um novo veículo.

### *Viabilidade Técnica*

A avaliação da viabilidade técnica do projeto do veículo inclui a verificação genérica do *vehicle package* (empacotamento), do design interno/externo inicial e considerações iniciais acerca da viabilidade de produção em série. O objetivo é certificar-se de que o limitado espaço interior da carcaça do veículo seja utilizado da melhor forma possível, através da aplicação da integração dos sistemas. Dois procedimentos que ocorrem no processo do *vehicle packaging* são a *análise da cadeia crítica de dimensionamento* e a resolução de seus conflitos no que diz respeito aos seus *target frameworks* estabelecidos pelo projeto. Tal cadeia de dimensionamento toma os

tripulantes como referências essenciais na hora de realizar o empacotamento (packaging), dando prioridade à sua acomodação adequada no interior no veículo.

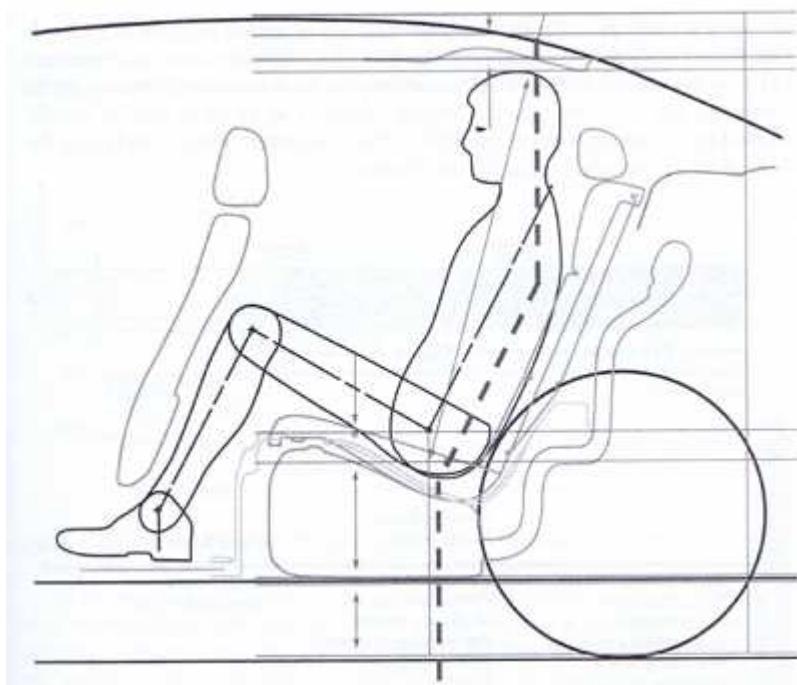


Figura 24: Cadeia crítica de dimensionamento de projeto

A figura acima mostra a cadeia dimensional crítica do ocupante do assento traseiro, representada pela linha pontilhada. A linha começa a partir do teto do veículo, passando pelo corpo do passageiro, seguindo em direção ao solo, atravessando o enchimento do assento, isolamento acústico, tanque de combustível e protetor externo embaixo do veículo (protetor de Carter) respectivamente. Ao longo da cadeia dimensional, uma variedade de requisitos leva a conflitos de que precisam ser resolvidos:

- Um design mais dinâmico e atrativo requer teto mais baixo, mas resulta em teto menor para o passageiro
- Para a redução do ruído no interior, é necessário um teto e piso com uma espessura grossa de isolante, que por sua vez reduz o espaço interior do veículo
- Ergonomia do passageiro exige que haja espaço suficiente no assento traseiro para um adulto médio, que reduz espaço para outros componentes (tanque de combustível, espessura do estofamento/ isolante acústico, etc.)

- Como o tanque de combustível costuma se localizar embaixo do banco traseiro (entre o isolante acústico e o protetor de Carter), a distância entre isolante e o protetor determina o volume de combustível
- A distância entre a superfície do asfalto e a superfície inferior do veículo, chamada *ground clearance*, determina as características aerodinâmicas do veículo, como arrasto, agilidade e resistência.

Os *target frameworks* também devem prover soluções relacionadas o planejamento da produção, terceirização/outsourcing, e processos de serviços. Plantas de produção devem ser selecionadas de acordo com os requisitos do projeto em termos de localização, tecnologia, capacidade, e estrutura de suprimentos (cadeia de produção). Aspectos de marketing também devem ser planejados: o seu canal de distribuição (se utilizará estrutura existente ou necessitará de criação de nova estrutura), estrutura de vendas, etc.

#### *Viabilidade econômica*

A análise da viabilidade econômica também é realizada na fase inicial. Os fluxos de caixa do ciclo de vida do produto são projetados, baseados em premissas plausíveis descritos no plano de negócios do veículo. O plano de negócios é geralmente elaborado por uma equipe compostas pelas áreas de estratégia corporativa, marketing, desenvolvimento, compras, produção e finanças.

### **Fase conceitual**

#### *Projeto do conceito do veículo*

Nessa fase o veículo ocorre o detalhamento das diretrizes do plano de negócios, definidos principalmente por *Target Agreements*. *Target Agreements* são os requisitos e especificações finais estabelecidos para veículo a ser fabricado, que são alcançados por “consenso” após intensa discussão com as diversas áreas funcionais da empresa. Os gerentes de projetos discutem com engenheiros, ergonomistas, empresas terceirizadas sobre os aspectos relevantes relativos a viabilidade de atendimento dos requisitos estabelecidos pelo projeto (custo, tecnologia, tempo, etc.).

Modelos reais e virtuais são as principais formas de representação e análise do veículo a ser fabricado. As superfícies interior e exterior podem ser fabricados em modelos físicos (barro, por exemplo) e posteriormente transferidos para modelos 3D virtuais (CAD). Modelos CAD 3D são criados a fim de avaliar as características do veículo e validar o carro-conceito. Nessa etapa também correm avaliações ergonômicas, de aerodinâmica, manuseio (dirigibilidade) e produção.

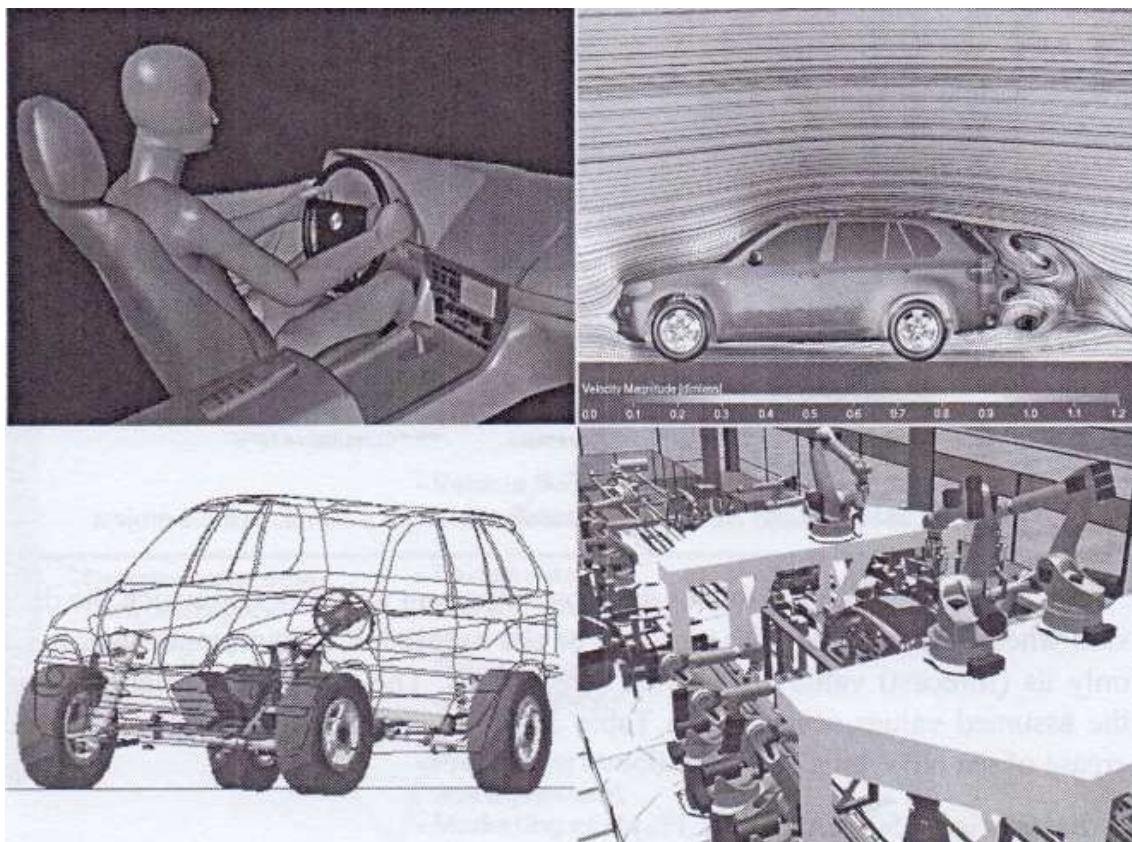


Figura 25 Da esquerda para direita, começando do topo: Avaliação ergonômica do motorista; teste de aerodinâmica; teste de dirigibilidade; projeto de planta de manufatura (WEBER; 2012)



Figura 26: Modelos de carros feitos em barro (Clay models). Fonte: images.businessweek.com

#### **4.3 Processos de Ergonomia no PDA**

A ergonomia desempenha um papel importante na fase de concepção do automóvel. O projeto do veículo é avaliado sob diversos aspectos da ergonomia, tendo como foco a atividade de condução do motorista e a acomodação adequada dos tripulantes do veículo. Além de parâmetros e princípios aplicados ao projeto, o uso de softwares tem sido um grande diferencial para análises mais eficientes e econômicas.

Durante a fase de concepção do automóvel, a área de ergonomia faz interface com diversas áreas da empresa, analisando propostas e problemas relacionados à ergonomia que são levantados na fase conceitual. A interface tem como objetivo a negociação entre o departamento de ergonomia e as diversas áreas funcionais da empresa, responsáveis por sistemas como o de propulsão, elétrico, climatização dentre outros, de modo que o conjunto final respeite os requisitos de ergonomia determinadas pela empresa.

A ergonomia aplicada a veículos encarrega-se basicamente de analisar os seguintes aspectos durante o projeto do veículo:

- Posicionamento do motorista e dos passageiros
- Análise dos controles, displays e layouts internos
- Campo de visão do motorista

- Atividades com interfaces com exterior (realizadas principalmente por meio do *task analysis*): entrada/saída do veículo, carregamento/descarregamento de cargas no veículo e serviços de assistência técnica.

Existem basicamente dois modos de realizar avaliações ergonômicas relacionadas às atividades do motorista, o usuário mais importante do ponto de vista da ergonomia. A primeira é através de *mockups* físicos onde são realizadas simulações das atividades (dirigir, apertar botões) e análises antropométricas e biomecânicas (forças e solicitações no corpo). O resultado depende da qualidade do *mockup* e do escopo aplicado em testes antropométricos e biomecânicos, além da metodologia utilizada. O segundo meio é o uso de simuladores virtuais em computador. Os modelos em CAD tridimensionais são importados para softwares de ergonomia, que possuem um manequim que simula o corpo humano. O manequim é amplamente configurável, possibilitando o estudo de diversos tipos antropométricos em um tempo relativamente curto, além de dispensar a inconveniência da necessidade de testes com biótipos reais. Tais softwares geralmente vêm com funções de análise automática, como cálculo da postura mais provável estatisticamente, análise de conforto e forças. As análises são baseadas em estudos reais de *mockups* construídos especialmente para o software. Os mais utilizados são o RAMSIS e o SAMMIE.



Figura 27: Mockup físico de simulação de postura (RAMSIS)

Existem vantagens e desvantagens para ambos modelos. A tabela a seguir descreve as vantagens e desvantagens de cada um:

**Tabela 2: Comparação entre mockups físicos x virtuais**

	<b>Mockups físicos</b>	<b>Simulador virtual</b>
<b>vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Análises mais realistas</li> <li>•Amplamente configurável (material, escala, tipos antropométricos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Custo baixo</li> <li>•Versatilidade de tipos antropométricos (banco de dados)</li> <li>•Análises automáticas em curto espaço de tempo</li> </ul>
<b>desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•São geralmente custosos e demorados</li> <li>•Necessita de analistas treinados para realizar análises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Algumas variáveis são difíceis de se utilizar como parâmetros (ex:ajuste do estofamento ao corpo)</li> <li>•limitações da simulação de algumas variáveis</li> </ul>

O funcionamento dos softwares será detalhado mais adiante, abordando o software RAMSIS.

#### *Aquisição e processamento de informação pelo motorista*

Dirigir um veículo é uma atividade que demanda captação de informações externas e seu posterior processamento pelo motorista. Durante o uso do veículo, o motorista adquire informações por vários sentidos continuamente (visão, audição, tato, sinestésico, olfativo). As informações adquiridas pelo motorista são processadas, servindo como insumo à tomada de decisões, para posterior tomada de ações de controle apropriadas a fim de manter o veículo em condução e navegar em direção ao destino desejado.

A visão é essencial para o motorista. É estimado que 90% das informações externas são recepcionadas pelos olhos (BHISE, 2012). A informação visual adquirida é enviada ao cérebro, que processa a informação juntamente com outras armazenadas na memória para executar inúmeras decisões.

A maioria das falhas do motorista ocorre devido às falhas em obter a informação necessária o suficiente, na hora certa e no lugar certo (BHISE, 2012). Quando o motorista é solicitado a descrever como se deu o acidente, a respostas mais comuns são: “eu não vi a vítima ( ou o pedestre, carro, a curva, sinal, etc.)”, “Eu não tina percebido que o outro veículo estava vindo tão rápido” ou “Eu interpretei a situação de maneira errada (o sinal, comunicação com outros motoristas, etc.)”. Devido a essas razões, o

projetista do veículo deve pensar constantemente em como reduzir as chances de erros e falhas no processamento de informações pelo motorista.

Em muitos casos, o motorista pode se deparar com situações em que há muitas solicitações de atividades a serem executadas em um curto período de tempo, devido ao trâfico, situação da estrada, estado do veículo ou atividades paralelas não relacionadas a dirigir (conversa no celular, trocar estação de rádio, etc.). Entender as várias demandas solicitadas ao motorista e como ocorre sua priorização (alocação de tempo e atenção entre diferentes atividades) são áreas de grande importância para projetistas de veículos e ergonomistas.

### Campo de visão

Campo de visão é a área que motorista consegue enxergar ao redor de seu veículo, considerando o uso de espelhos. Durante sua atividade de dirigir, a visão é essencial para a locomoção do motorista, solicitada continuamente enquanto o motorista encontra-se em deslocamento. É importante que o motorista tenha a visão de todo seu entorno, incluindo as laterais e a região traseira.

A maioria dos automóveis conta com pelo menos 3 espelhos auxiliares para aumentar o raio de visão do motorista:

- Espelho central interno
- Espelho retrovisor esquerdo
- Espelho retrovisor direito

Os retrovisores são utilizados principalmente para a visualização das pistas adjacentes ao veículo do motorista, e o espelho interno central é utilizado para enxergar a região anterior ao veículo. Alguns espelhos possuem outro espelho convexo embutido para auxiliar a visualização de regiões mais distantes ao veículo, e outros modelos ainda possuem câmeras na região traseira para auxiliar na baliza e estacionamento do carro.

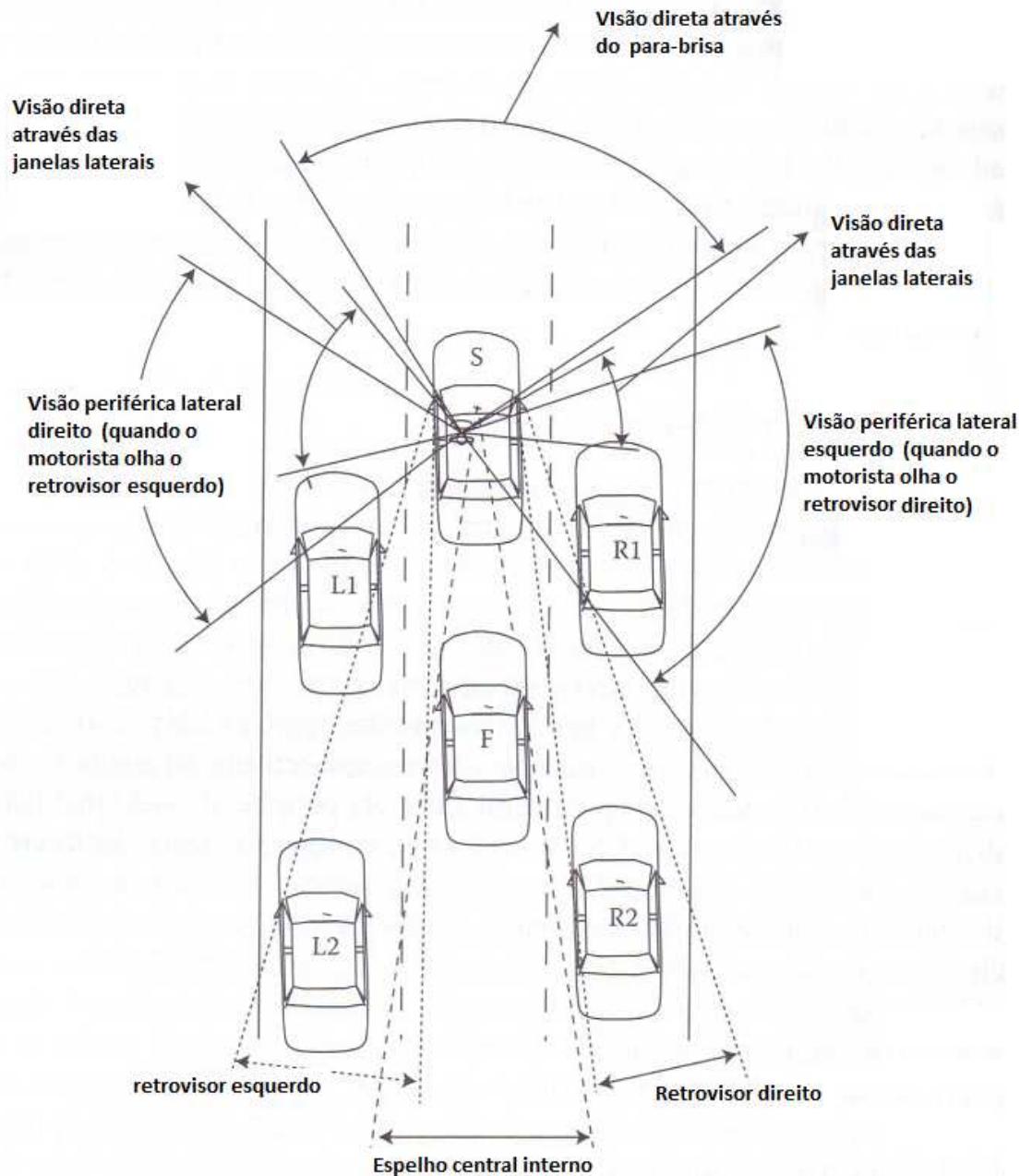


Figura 28: Campo de visão do motorista (adaptado de BHISE, 2012)

O campo visual do motorista é dependente dos seguintes fatores:

- Características do motorista
- Características do veículo
- Características dos objetos externos do veículo

- Condições do ambiente

**Características do motorista:** A quantidade de informação que o motorista pode obter depende das características individuais (físicas e psicológicas) de cada condutor. Podemos citar como exemplos a localização geométrica dos olhos dentro do espaço veículo (região definida como “eyellipse” pela Sociedade dos Engenheiros Automotivos), a capacidade visual individual do motorista (limites de contraste visual, acuidade visual, extensão da visão, etc.), capacidade de movimentos da cabeça/ do pescoço, capacidade de processamento de informação e idade do motorista.

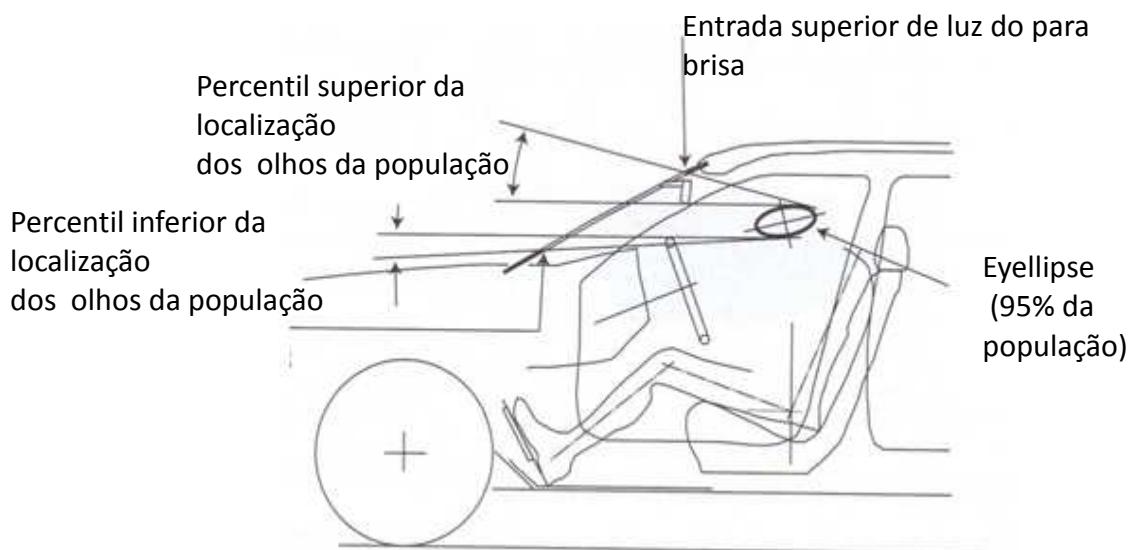


Figura 29: Representação do *Eyellipse* (adaptado de BHISE, 2012)

**Características do veículo:** As características do veículo relacionadas ao campo de visão do motorista são determinadas aberturas externas do veículo (por onde entram a luz externa) e as propriedades do vidro que compõem as janelas. Outros componentes ou fatores podem reduzir a visibilidade tais como reflexos no vidro, sujeira no vidro, sistemas de desembacamento/descongelamento, marcação em vidros, etc.

**Objetos externos:** O tamanho, a localização e as características fotométricas dos diferentes objetos e seu contraste com seu fundo afetam a quantidade de informação que o motorista consegue obter. Alguns objetos são placas de sinalização, movimentação de outros veículos, pedestres, animais dentre outros.

**Ambiente:** São definidas pelas condições naturais do ambiente, relacionadas principalmente ao clima (chuva, névoa, neve) e período do dia (manhã, tarde, noite). O

período influencia diretamente na capacidade visual do motorista, que depende bastante da iluminação solar para enxergar seu entorno durante a condução do veículo.

### *Avaliação do campo de visão*

Os projetistas e engenheiros da GM (assim como em outras montadoras) conduzem uma série de análises para avaliar os diferentes requerimentos e as diferentes necessidades dos condutores, a fim de determinar se o veículo projetado proverá um campo de visão satisfatório para um amplo conjunto de possíveis biótipos de determinada população.

As montadoras de veículos seguem uma série de especificações definidas por entidades normativas (SAE) para garantir um padrão mínimo de visibilidade para todos os veículos, a fim de garantir a inclusão de uma ampla faixa da população e diminuir os riscos de acidentes (definidos como “erros” em ergonomia). Embora a maioria das recomendações não tenha obrigação legal de serem seguidas, as montadoras em geral adotam-nas por questão de padrão de mercado.

Seguem algumas definições como exemplo:

- ✓ O espelho central interno deve prover uma visão horizontal mínima de 20 graus, e o alcance da visão vertical deve fazer intersecção com o chão no máximo a 61 metros de distância.
- ✓ Os retrovisores devem possibilitar a visualização horizontal de 2.4 metros de largura do chão a 10.7 metros atrás do motorista, ao nível do solo
- ✓ O espelho interno deve ser alcançável pela mão por 95% da população. O alcance é definido pelo envelope de alcance, que consiste em uma esfera que representa o alcance das mãos do motorista na posição sentada.

A GM conta com diversos centros de competência especializados em determinadas áreas funcionais ou sistemas, dentre elas os responsáveis pelo campo de visão. As fabricantes devem certificar-se de que os motoristas terão visualização adequada do ambiente ao seu redor, devendo certificar-se que pelo menos 95% da população consigam executar a atividade de direção de forma segura, através do estabelecimento de uma série de parâmetros citados anteriormente.

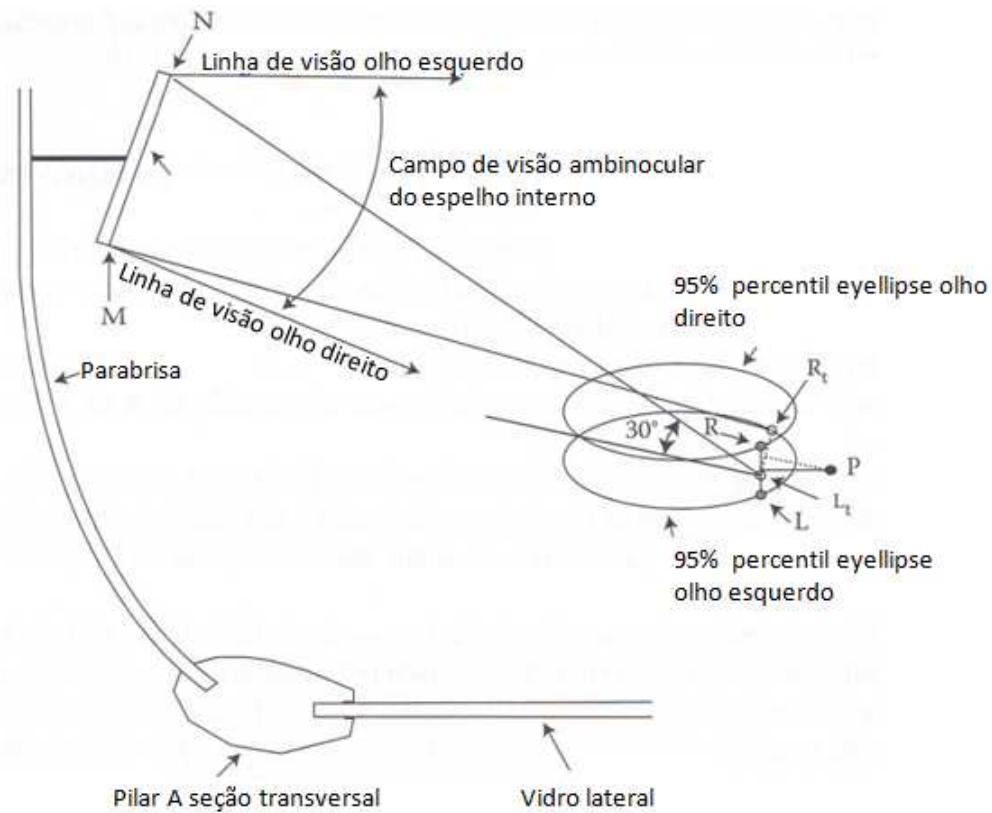
A análise de visão é realizada desde os estágios iniciais do projeto, na fase de concepção do automóvel. Existem softwares de apoio que simulam a visão direta e indireta de motoristas com o apoio de modelos CAD 3D e manequins que simulam o corpo humano. Modelos computacionais detalhados do veículo em 3D são feitos durante a fase de concepção para a realização de diversas análises (*vehicle packaging*, estudos de aerodinâmica, *handling*) dentre elas a ergonomia. A análise do campo visual pode ser realizada através de 3 métodos:

- *Mockups* físicos
- Softwares computacionais
- Modelos matemáticos

*Mockups* físicos consistem na construção física de uma maquete do veículo, com a colocação de motoristas para simular visibilidade ou uso de luzes para determinar direção, alcance e obstrução da visão (pilares de sustentação, apoio de cabeça, antena e outros objetos). O uso de *mockups* requer mão de obra treinada e especializada, tanto para montagem de maquetes/protótipos quanto para análise das questões de visão e ergonomia, tratando-se de um processo caro e demorado.

Softwares computacionais são os mais utilizados por serem mais ágeis, baratos e relativamente mais versáteis em relação à análise da visão/ergonomia. O software visa simular a cabine e o posicionamento do motorista no seu interior, e reproduz sua visão direta/indireta, em primeira pessoa, a projeção de sua visão e interferência de obstáculos. O uso de software possui suas limitações mas seus benefícios superam o custoso processo de *mockups* físicos.

Os modelos matemáticos consistem no estudo de ângulos de visão no plano cartesiano. O procedimento envolve uma série de cálculos matemáticos para determinar ângulos mínimos/máximos, projeções de visão e alcance dos espelhos. São usados planos com dois eixos (bidimensionais) ou três eixos (tridimensional) a depender do tipo de análise, feita tanto em coordenadas cartesianas quanto polares.



**Figura 30: Modelos matemáticos de análise do campo de visão**

A GM, assim como a maioria das montadoras, utiliza principalmente softwares para maioria de seus projetos devido ao baixo custo e maior rapidez de análise. O uso de mockups físicos raramente ocorre, que são utilizados somente em projetos muito inovadores.

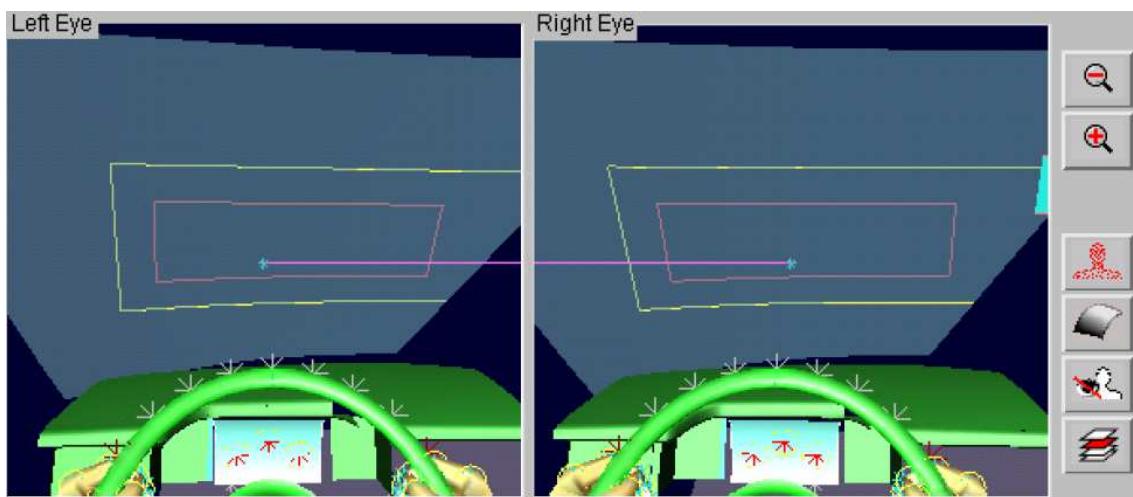
### Softwares de ergonomia

O software RAMSIS é bastante utilizado durante fase de concepção do veículo para analisar o campo de visão do motorista. O ser humano é representado por um manequim com biótipo amplamente configurável (altura, posição dos olhos, distância entre olhos, etc.), além de possuir biótipos pré-configurados de fábrica para representar populações de etnias ao redor do mundo, sexo, idade, além de estimar seus percentis extremos (2,5% e 97,5% dos valores por exemplo).

O software projeta a visão individual em primeira pessoa de cada olho. Os ergonomistas e engenheiros estudam os vários tipos de visão, chamadas de visão monocular (de apenas um olho individual), ambinocular (visão sobreposta dos dois olhos) e binocular (região visível aos dois olhos simultaneamente). O estudo da visão

individual é importante para avaliar ângulos máximos de visão, além da região da visão binocular, que provê muito mais informações (distância do objeto, velocidade) ao motorista.

O RAMSIS provê uma simulação simplificada de cada visão monocular representada de uma área retangular. Uma crítica a ser feita é que a visão humana é melhor modelada por uma projeção cônica, com diferentes características de visão dentro da própria área de visão.



**Figura 31: Representação da visão dos olhos direito e esquerdo**

O software possui a limitação de projetar visão retangular monocular, mas há a possibilidade de se visualizar o campo visual direto do manequim. Mas mesmo com suas limitações o software provê meios suficientes necessários para análise satisfatória da visão.

O campo é representado por cones com base plana. O cone é dividido internamente em 3 subcones que representam as peculiaridades de cada região da visão humana: visão aguda, visão ótima e visão ampliada (do menor para o maior, respectivamente).

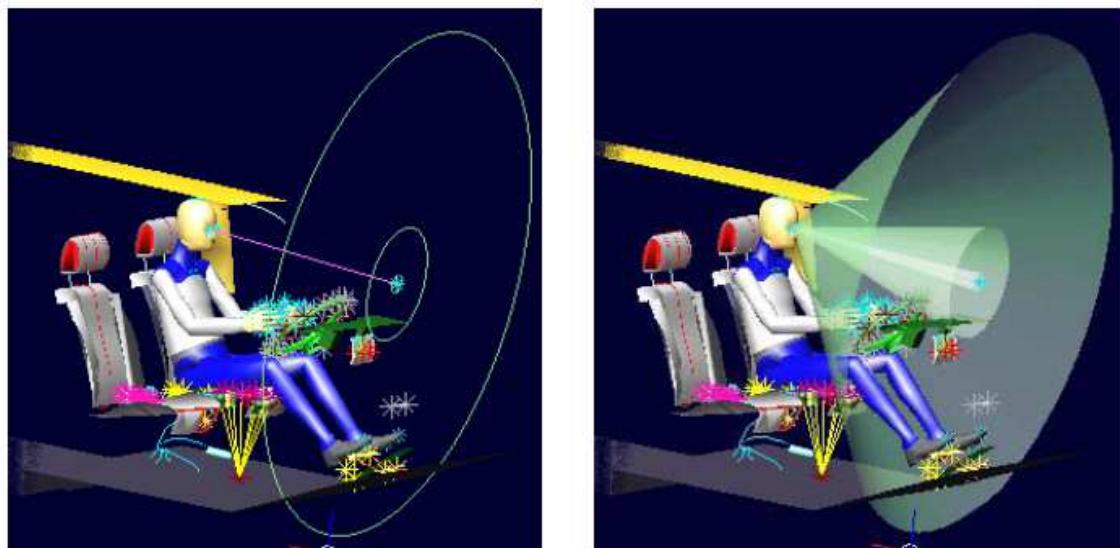
O subcone mais interno é chamado de visão aguda ( $2,5^\circ$  de abertura em relação à linha central do cone). É a região sobre o qual o ser humano consegue visualizar o maior nível de detalhes e informações possíveis, sendo necessário usar essa região para atividades como leitura de letras, símbolos, placas, números. Toda vez que o motorista necessita interpretar um sinal mais detalhado, ele precisa deslocar seus olhos sobre a região a ser “lida”. Por exemplo, o motorista precisa mover seu globo ocular e

cabeça/pescoço para visualizar as informações do GPS, tirando seu foco na rua ou estrada que se encontra na sua atividade de direção.

O segundo subcone é a região denominada visão ótima, utilizada principalmente para captação de iluminação do ambiente. Possui capacidade de enxergar detalhes mas não é tão eficiente quanto à região aguda.

O olho humano possui dois tipos de células, denominadas cones e bastonetes. Os cones são responsáveis pela distinção de pequenos detalhes da imagem, concentrando-se principalmente na região da visão aguda. Os bastonetes, por sua vez, são mais sensíveis à presença luz, mas não possuem capacidade de distinguir nuances de cores. Por isso esta região é mais utilizada na presença de pouca luz ambiente.

O terceiro subcone (mais externo) é a visão ampliada. Representa a extensão máxima da visão humana. A região mais externa é a visão periférica, utilizado para detectar movimentos ou aceleração de pessoas e objetos. Possui baixa concentração de células cone e bastonetes, sendo menos eficiente na distinção de detalhes ou captação de luz.

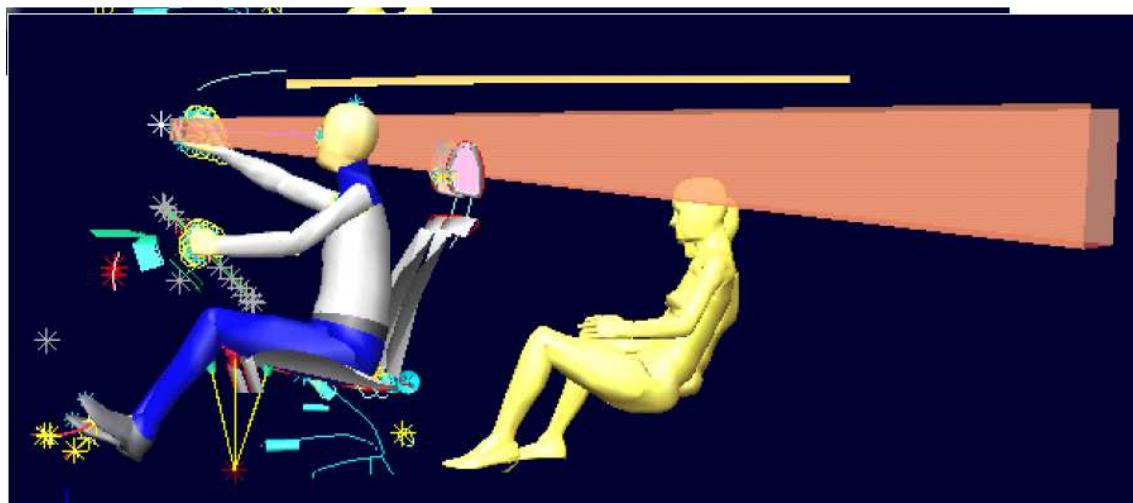


**Figura 32: Cones de visão (RAMSIS, 2013)**

O RAMSIS representa a visão humana através de um cone com alcance limitado. Também trata-se de uma projeção a partir do ponto central entre os dois olhos. A visão dos olhos não são representados individualmente, e o alcance da visão também não é representada de maneira adequada. No entanto a modelagem permite ter uma boa noção da visão direta do motorista a partir do interior do veículo.

Dentro da análise da visão direta é possível verificar como a obstrução de objetos da vista afeta a visão do motorista (por exemplo, os pilares estruturais ao redor do pára-brisa ou o volante para pessoas baixas). A projeção da visão também é ajustada de acordo com as características configuradas do manequim. Assim, é possível verificar, por exemplo, se uma mulher de baixa estatura consegue visualizar adequadamente a região frontal do carro, enxergando pontos-chave determinados ou recomendados por entidades de classe (enxergar o horizonte, enxergar o capô, etc.)

Existe ainda a projeção da visão indireta, que é a visão proporcionada pelos espelhos auxiliares do carro. O campo da visão indireta é representado por uma projeção tridimensional conforme a figura abaixo.



**Figura 33: Campo de visão indireta do espelho central interno**

A análise da visão indireta é necessária para verificar os requisitos e recomendações de configuração estabelecidas por entidades normativas e por diretrizes internas da empresa. Um exemplo é que 95% da população deve conseguir enxergar o horizonte através do espelho retrovisor. Há ainda uma série de normas a serem seguidas, com o intuito de garantir que a maior parcela da população de motorista consiga ter uma visão adequada do seu entorno, permitindo conduzir o carro de maneira segura.

#### **4.3 Outros métodos de avaliação de ergonomia na GM**

Para assegurar-se que o veículo em desenvolvimento irá atender a necessidade dos consumidores, a General Motors conduz avaliações dos atributos ergonômicos do

automóvel sob todos os usos possíveis e viáveis. O uso pode ser definido em termos de cada tarefa que necessita ser executado pelo usuário a fim de alcançar determinado objetivo. Uma tarefa pode ter vários passos ou várias subtarefas. Para ilustrar tal fato, podemos citar a atividade de entrar no veículo, que envolve uma série de passos:

- 1) Destrancar a porta
- 2) Abrir a porta
- 3) Entrar no veículo
- 4) sentar no assento do motorista
- 5) Fechar a porta

A análise da tarefa é realizada com o propósito de testar as atividades importantes relacionadas ao veículo, principalmente as ligadas à atividade de direção e suas tarefas de apoio, como acionamento de comandos (setas, luzes, marcha, etc.), atividades de entrada/saída, carga/descarga, manutenção (tanto própria quanto o realizado pela concessionária: troca de componentes, revisão do carro), dentre outros.

As avaliações ergonômicas são conduzidas por várias razões:

- 1) Determinar se usuários estarão aptos a usar o veículo ou suas funções;
- 2) Determinar se o veículo possui algum atributo inaceitável que pode/poderá gerar reclamações de consumidores após sua introdução no mercado;
- 3) Comparar preferências do usuário entre atributos ou entre veículos;
- 4) Determinar se o produto será percebido como o melhor da indústria pelos consumidores;

### **Métodos de avaliação**

Os métodos de avaliação podem ser classificados em 3 tipos

- Observação
- Comunicação
- Experimentação

O método de observação apenas observa as ações do sujeito, sem interferências ou participação. O objetivo é reduzir a influência do avaliador no resultado das pesquisas. A coleta e análise dos dados ocorrem somente através da observação do comportamento do sujeito. As observações podem ser realizadas presencialmente ou gravadas para visualização posterior, ou ainda relatada por outros avaliadores (método indireto).

No método de comunicação existe a interação controlada entre o experimentado e o experimentador. A interação pode ocorrer por meio de entrevistas e discussões entre o avaliador e avaliado, dentre outros. O entrevistador pode inclusive exercer certa influência no processo de experimentação ou em seus resultados, que deve ser controlada e considerada no momento de extrair conclusões. Por isso o avaliador deve estar atento a um possível viés dos resultados.

No método de experimentação, as situações de teste são projetados para ocorrência de mudanças deliberadas e controladas através da combinação de certas variáveis independentes, e as respostas são obtidas através da combinação de métodos de observação e comunicação

### **Medidas objetivas e subjetivas**

Os tipos de medições podem ser classificados em objetivas ou subjetivas. Medidas objetivas são aquelas que podem ser medidas quantitativamente ou qualitativamente de maneira consistente independentemente do sujeito que executa a tarefa ou pelo avaliador. Tais medidas são geralmente obtidas através de uso de instrumentos físicos ou pela avaliação de avaliadores experientes, treinados e livres de viés. Alguns exemplos são: tempo, freqüência (de erros, desvios, tentativas, etc), medidas (altura, peso, etc.)

As medidas subjetivas são baseadas na percepção e experiência individual do sujeito durante ou após a execução da tarefa. Em outras palavras, cada sujeito atribui uma avaliação de acordo com sua percepção única e individual. Trata-se principalmente da opinião a respeito de algo. Alguns exemplos são atribuições de notas ou relato de experiências.

Medidas objetivas são geralmente preferidas devido ao fato de serem mais precisas e livre de viés. No entanto existem muitos atributos cuja avaliação subjetiva é

importante ou é a única disponível, já que a percepção do usuário é um dos fatores cruciais na avaliação ergonômica. Após a experimentação do veículo, os usuários estão mais aptos a expressarem suas percepções/sua experiência a respeito do veículo e suas características.

A General Motors conduz uma série de análises e avaliações ergonômicas nas suas filiais ao redor do mundo, organizados em um sistema de dados que integra mundialmente as unidades locais ao redor do mundo. Tal sistema permite compartilhar as informações em uma determinada unidade para que a empresa como um todo possa utilizar os conhecimentos desenvolvidos localmente. Muitos dos métodos apresentados aqui são práticas comuns das grandes montadoras de veículos.

Dentre outras áreas da empresa, podemos citar a área de marketing, que costuma ter maior contato direto com o consumidor, solicitando feedbacks e realizando clínicas de pesquisa. A área de Inteligência de mercado analisa os dados e busca traçar tendências, inferir características comuns, dentre outras atividades.

## **5. ANÁLISE DOS DADOS**

### **5.1 Recomendações de ergonomia**

De acordo com o exposto anteriormente, existem diversas atuações da ergonomia ao longo do ciclo do PDA. As principais fontes de informação são os diversos padrões estabelecidos pela SAE e o conhecimento adquirido ao longo de sua existência, tanto aqueles desenvolvidos dentro da empresa quanto por instituições fora dela. O conhecimento é armazenado em um sistema de banco de dados denominado “Best Practices of GM”, cuja função é armazenar e disponibilizar informações locais para todas as unidades mundiais, em forma de procedimentos, recomendações, histórico de resultados, dentre outros. No entanto percebe-se a concentração do conhecimento em certas áreas, notoriamente as atividades de estudo de direção e campo de visão. Tal fato é explicado pela sua importância, por razões de segurança e desempenho, sendo fatores muito importantes para a conquista do consumidor.

As avaliações podem ser agrupadas didaticamente nas seguintes categorias:

- Controles e Displays

- Campo de visão
- Atividades não relacionadas à direção (entrada/saída do veículo; carga/descarga, etc.)
- Direção do veículo

A atividade de direção é a atividade mais importante de todas, que exige maior atenção por ser a atividade mais complexa e a que envolve maior risco de danos. A direção demanda bastante atenção do motorista durante um período que costuma ser relativamente prolongado, envolvendo riscos como acidentes que podem acarretar graves consequências. As demais categorias podem ser consideradas atividades de suporte ao objetivo principal da direção. O campo de visão está relacionado com a direção, pois esta somente é importante durante a atividade de direção. Embora o campo de visão seja uma atividade de apoio, também possui significativa importância devido ao papel crucial que desempenha na performance e segurança do motorista durante a condução do veículo. Controles e displays também são atividades importantes que são podem ser executadas concomitantemente com a direção, e algumas delas também influenciam diretamente no desempenho da direção, como por exemplo:

- Operabilidade do sistema de transmissão: marcha e embreagem
- Controle da direção: volante, aceleração, freio
- Display de informações da situação do veículo (principalmente através do painel instrumental)
- Controles de visibilidade: desembaçador, limpador do para brisas, iluminação interna e externa
- Controles de comunicação com outros motoristas: setas de direção, buzina

A tabela a seguir resume as atribuições de ergonomia durante o PDA:

**Tabela 3: Resumo das avaliações ergonômicas no PDA**

<b>Descrição</b>	<b>Tipo de avaliação</b>
- Avaliação de direção: posição, postura, alcance	<i>Posicionamento do Motorista e passageiros</i>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliação de compatibilidade para 95% da população</li> </ul>
<i>Campo de visão</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliação da visão direta e indireta</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise das obstruções (pilares de sustentação interna, apoio de cabeça)</li> </ul>
<i>Alocação de controles e displays</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posicionamento e alocação dos controles secundários no interior: janelas, capô, ventilador</li> </ul>
<i>Painel Instrumental e console</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliação ergonômica dos painéis e console</li> </ul>
<i>Operabilidade dos controles</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliação da operabilidade: alcance, força máxima necessária, conforto durante execução, facilidade de leitura e interpretação dos comandos</li> </ul>
<i>Illuminação interna e externa</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Iluminação interna: controles, painel instrumental, luzes internas</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Iluminação externa: faróis noturnos, luzes de freio, <i>break lights</i>, iluminação da placa</li> </ul>
<i>Avaliação do Porta-malas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Task Analysis</i> de carga/descarga</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Task Analysis</i> de abertura/fechamento</li> </ul>
<i>Avaliação de atividades de assistência técnica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento das operações de manutenção do veículo</li> </ul>
<i>Avaliação Final geral</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliação final do conjunto</li> </ul>

As práticas internas permeiam a maioria dos critérios de avaliação durante o PDA, e servem também como diretrizes e parâmetros para definição do veículo e seus

componentes, subsistemas e sistemas. A tabela a seguir resume os métodos utilizados em cada tipo de avaliação.

**Tabela 4: Resumo dos métodos de ergonomia**

<b>Tipo de avaliação</b>	<b>Métodos de avaliação</b>
<i>Posicionamento do Motorista e passageiros</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelos físicos e virtuais CAD</li> <li>- Padrões SAE: J1516, J4002, etc</li> </ul>
<i>Campo de visão</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mockups físicos e virtuais</li> <li>- Modelos matemáticos</li> </ul>
<i>Alocação de controles e displays</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conceitos e considerações de controles e displays</li> <li>- Recomendações/Diretrizes Internas</li> </ul>
<i>Painel Instrumental e console</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requisitos de localização em padrões SAE: J1139</li> <li>- Recomendações/diretrizes internas</li> </ul>
<i>Operabilidade dos controles</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise de Tarefa (<i>Task Analysis</i>)</li> <li>- Recomendações/diretrizes internas</li> </ul>
<i>Illuminação interna e externa</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Padrões SAE</li> <li>- Recomendações/diretrizes internas</li> </ul>
<i>Avaliação do Porta-malas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Padrões SAE</li> <li>- Análise de Tarefa (<i>Task Analysis</i>)</li> <li>- Modelos de Análise Biomecânicos</li> </ul>

<i>Avaliação de atividades de assistência técnica</i>	- Análise de Tarefa ( <i>Task Analysis</i> )
	- Checklists
<i>Avaliação Final geral</i>	- Avaliação/ <i>Sign-Off</i> final de Engenheiros Ergonomistas

As avaliações mais importantes são apoiadas por muitos métodos e materiais, incluindo estudos internos/externos, normas, softwares especializados e equipes técnicas altamente especializadas em nichos de conhecimento (por exemplo, em simulações físicas e virtuais), cujas especialidades encontram-se distribuídas ao redor do mundo. Certos itens, devido à dificuldade inerente em avaliação são menos regulados e sujeitos à padronização de práticas no mercado, muitas vezes por apresentar um alto teor de subjetividade em suas avaliações, como detalhes de layouts de controles e iluminação.

Nota-se certa deficiência no estudo de controles. Na SAE, por exemplo, embora existam recomendações e princípios para posicionamento e avaliação de controles, tais princípios muitas vezes são genéricos e carecem do viés do consumidor, este último de extrema importância para determinação do sucesso do veículo. Em última instância, é o consumidor que avalia o desempenho ergonômico final do veículo, determinando se os critérios adotados no PDA foram bem sucedidos ou não.

Com o intuito de aperfeiçoar o desempenho ergonômico dos automóveis propõe-se a aplicação de questionários ao consumidor para avaliação ergonômica do desempenho ergonômico, voltado especificamente para as necessidades desta área.

Com o viés do consumidor é possível avaliar as premissas e requisitos adotados no PDA durante a fase de projeto do veículo, criando um processo que busca incorporar as necessidades do consumidor nos próximos projetos, definir prioridades e critérios de acordo com o usuário.

O processo de aperfeiçoamento contínuo de ergonomia proposto visa contribuir para a estratégia da organização, através da agregação de valor ao PDA impactando em todas as futuras atividades de projetos da companhia. O viés do consumidor é peça

fundamental para o sucesso da estratégia da companhia, contribuindo para o crescimento sustentável de longo prazo e agregando um diferencial competitivo a fim de conquistar mais clientes no disputado mercado automobilístico.

O método visa captar as informações dos usuários a respeito dos veículos existentes no mercado (tanto da própria empresa quanto de concorrentes) para realizar avaliação de ergonomia dos veículos, a serem incorporados em futuros projetos de veículos. A avaliação ergonômica é mais específica do que a avaliação genérica de marketing realizada mais com propósitos de vendas que tem pouco foco em critérios de projeto. Os dados auxiliarão os engenheiros e projetistas a captarem o feedback diretamente do usuário, informações que podem ser usadas para validar e avaliar os critérios de projeto previamente aplicados.

A GM já possui um banco de dados denominado *Best Practices* no qual é possível incluir as conclusões obtidas das avaliações ergonômicas dos usuários, que poderão ser utilizados posteriormente pelos projetistas e engenheiros para aprimorar a qualidade e o desempenho ergonômico de futuros veículos a serem lançados no mercado.

## **5.2Avaliação de ergonomia**

Observa-se que softwares não possuem boa capacidade de avaliação de controles devido à dificuldade de simular as atividades de operações de controles em programas virtuais. Existe também muita dificuldade em simular a percepção subjetiva do ponto de vista humano, além do fato das percepções serem altamente variáveis de acordo com o indivíduo.

As avaliações diretas do consumidor, como operador final do veículo, são as fontes mais importantes e determinam se os critérios, premissas e especificações de projeto foram bem sucedidas ou não. O feedback do consumidor será captado por meio de avaliações através de questionários de ergonomia, que podem ser aplicados tanto em clínicas de avaliação (onde há maior controle do avaliador sobre os fatores que influenciam os resultados da pesquisa, tornando-as mais confiáveis) ou diretamente ao usuário do veículo (por meio de correio, email, etc.).

A idéia é transformar as avaliações posteriores em futuros parâmetros ou especificações a serem considerados no projeto e nos processos automotivos, tornando-as um ciclo contínuo de avaliação e aperfeiçoamento do produto.

### *Ratings*

Existe a possibilidade de combinação com diversas escalas de ratings de acordo com o tipo de avaliação planejada e seu objetivo. Deve-se buscar o indicador mais coerente com o questionário para facilitar as respostas e o entendimento por parte do consumidor que responde a avaliação.

A escala numérica permite atribuir pontos numericamente inclusive em intervalos não inteiros. Com a nota objetiva de cada avaliado é possível calcular dados estatísticos como média e desvio padrão. Os números servirão como base para outra avaliação.

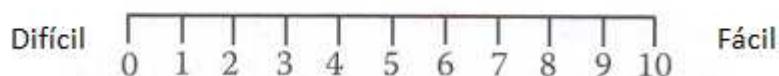
O avaliador deve escolher os parâmetros mais adequados para a pesquisa, sendo os mais comuns:

- Facilidade (Fácil x Difícil)
- Aceitabilidade (Aceitável x Inaceitável)
- Localização (Perto/Longe)

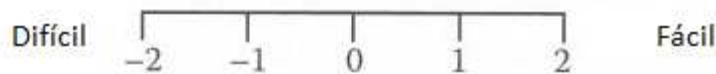
São apresentadas a seguir exemplos de escalas possíveis de serem utilizadas:

1) Grau de facilidade

#### *Escala numérica de 10 pontos*



#### *Escala diferencial semântica*



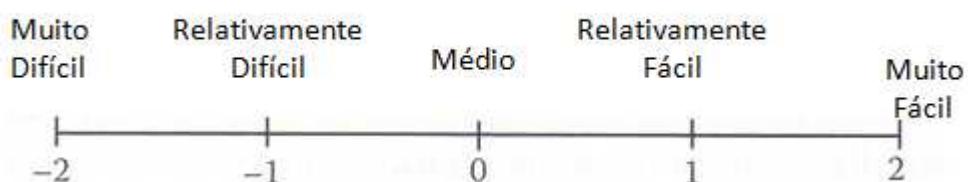
*Escala numérica de 5 pontos*



*Escala de rating descritiva*

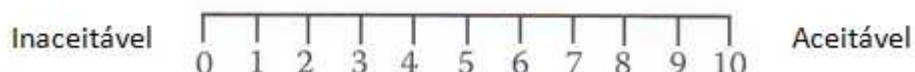


*Escala diferencial semântica numérica e descritiva*

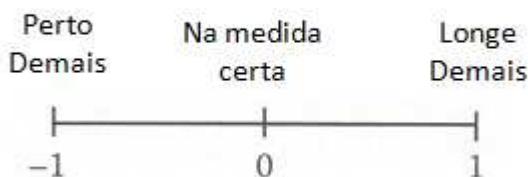


## 2) Escala de aceitabilidade

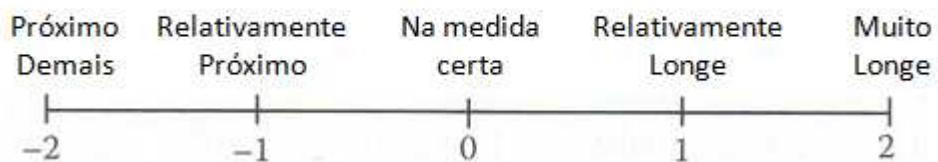
*Escala de aceitação de 10 pontos*



*Escala de magnitude de 3 pontos*



*Escala de magnitude de 5 pontos*



A partir dos resultados constatados nas avaliações a GM poderá incorporar as novas sugestões de melhoria e aperfeiçoamento nos próximos projetos e processos de desenvolvimento de automóveis.

Com o resultado da avaliação, é proposta uma tabela para sintetizar as informações dos usuários, através do cálculo de notas médias e registro de comentários pertinentes captados durante o processo de avaliação. Tal método busca avaliar cada aspecto da ergonomia de acordo com os critérios mais importantes, possibilitando uma análise mais ampla sob todos os aspectos desejados. Segue um exemplo:

**Tabela 5: Matriz de avaliação ergonômica**

GRUPOS DE AVALIAÇÃO		Visibilidade	Interpretabilidade	Localização	Alcance/distância	Operabilidade	Comentários
<b>Entrada e saída do veículo</b>	Maçaneta interna						
	Maçaneta externa						
	Trava das portas						
<b>Campo de visão</b>	Controle das janelas						
	Desembacador traseiro						
	limpador do pára-brisa						
	Espelho central interno						
	Espelhos retrovisores						
<b>Direção</b>	Embreagem						
	Marcha						
	Freio de mão						
	Velocímetro						
	Tacômetro						
	Medidor de gasolina						
<b>Carga e descarga</b>	Abertura do porta-malas						
<b>Controle de clima</b>	Ar condicionado						
	Ventilador						

<b>Abastecimento</b>	Abertura do bico de abastecimento						
	Fechamento do bico de abastecimento						
<b>Sistema de som</b>	Controles do rádio						
<b>Manutenção</b>	Abertura do capô						
	Troca de componentes (filtro, óleos e fluídos)						

O objetivo final desta metodologia é permitir uma avaliação sistemática após o projeto sob o ponto de vista da ergonomia. Com a tabela é possível escolher grupos específicos e critérios (visibilidade, interpretabilidade, localização, alcance etc.) a serem avaliados de acordo com as necessidades e o escopo desejado. Assim a tabela serve como referência para realização de pesquisas com focos específicos como será realizada no item a seguir.

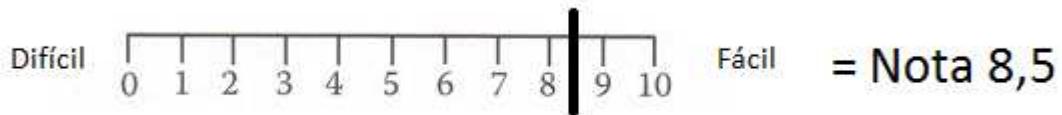
### **Teste e validação do questionário**

Para testar a validade do método, foi elaborado um questionário baseado nos parâmetros fornecidos pela tabela anterior para ser testado em campo. O objetivo é avaliar os resultados obtidos e analisar seu desempenho.

A pesquisa foi aplicada em uma mostra de 10 condutores freqüentes de automóveis. Buscaram-se motoristas que usam o automóvel por período prolongado de tempo, que são os indivíduos com maior experiência em veículos e sua operabilidade, sendo que a maioria desses usuários utiliza o veículo por necessidade ou imposição do trabalho. O teste foi delineado para avaliar o desempenho de controles dos automóveis utilizado de acordo com a perspectiva de cada um dos motoristas.

A pesquisa foi adaptada de acordo com a escala e com a viabilidade, além de considerar seu objetivo, que é a verificação do desempenho do método proposto anteriormente. Por isso foram removidos alguns itens que não fariam sentido avaliar nesta mostra devido às particularidades dos motoristas avaliados, que não realizam algumas atividades como manutenção e abastecimento, pela razão das frotas serem terceirizadas.

O questionário faz perguntas sobre a facilidade de uso de determinados comandos do veículo, utilizando-se a escala nominal de 1 a 10, discutidos na seção anterior. Segue um exemplo da escala utilizada:



A pesquisa aplicou o questionário diretamente aos usuários, com instruções de preenchimento e entrevistas diretas com alguns dos pesquisados. O questionário pediu a avaliação da facilidade de uso dos seguintes controles:

- Maçaneta externa
- Trava das portas
- Controle das janelas
- Acionamento do desembaçador traseiro
- Acionamento do limpador do pára-brisa
- Espelho central interno
- Espelhos retrovisores
- Embreagem
- Marcha
- Freio de mão
- Abertura do porta-malas
- Ar condicionado
- Ventilador
- Controles do rádio
- Abertura do capô

Ao final do questionário foi disponibilizado um espaço para comentários livres a respeito do veículo. O questionário completo encontra-se em anexo ao final deste trabalho.

O levantamento buscou obter o tempo médio semanal de condução do veículo, em horas por semana, e a profissão do motorista relacionada ao uso do automóvel. O perfil da profissão obtida é heterogêneo, incluindo desde motoristas executivos a escoltas armadas de segurança. O grupo de automóveis obtidos também é heterogêneo. A tabela a seguir sintetiza o perfil dos entrevistados e seus respectivos veículos.

**Tabela 6: Perfil dos entrevistados**

	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Ano</b>	<b>Horas/semana de direção</b>	<b>Principais atividades</b>
<u>Usuário 1</u>	Volkswagen	Gol G6	2013	40	Patrulhamento de vias
<u>Usuário 2</u>	Fiat	Vivace	2013	48	Inspeção de postos de serviço; visita a clientes
<u>Usuário 3</u>	Volkswagen	Gol G6	2013	24	Patrulhamento
<u>Usuário 4</u>	Chevrolet	Celta	2006	60	Rondas em condomínios
<u>Usuário 5</u>	Fiat	Novo Uno	2004	30	Manutenção de redes da Empresa NET
<u>Usuário 6</u>	Chevrolet	Trafic	1994	50	Transporte Escolar
<u>Usuário 7</u>	Chevrolet	Classic	2014	25	Visita a clientes
<u>Usuário 8</u>	Fiat	Uno	2008	30	Escolta armada
<u>Usuário 9</u>	Fiat	Palio	2007	40	Ronda
<u>Usuário 10</u>	Ford	Fusion	2010	50	Motorista Executivo

### **Avaliação dos dados obtidos**

Observou-se que as profissões que exigem condução freqüente do motorista também exigem outras atividades concomitantes à atividade de condução, relacionadas à demanda do trabalho. Uma delas é a necessidade de comunicação freqüente de patrulhas e rondas, que são freqüentemente solicitados para realizar escoltas e atender chamadas de moradores. Os motoristas que fazem rondas freqüentemente realizam atividade de comunicação via rádio enquanto realizam a condução do carro.

Será apresentado a seguir o resumo dos resultados obtidos durante a entrevista e avaliação dos usuários.

O usuário 1, que realiza patrulhamento de vias em condomínios, que dirige o modelo VW Gol 2013 relatou dificuldades de uso da janela manual(nota 6) embreagem desconfortável que exige força (nota 4) e mecanismo de abertura complicada do porta-malas (nota 5).

O usuário 2, que utiliza seu carro principalmente para visitar clientes, condutor do Fiat Vivace relatou dificuldade na abertura e fechamento das janelas manuais ( nota 5 ) certa dificuldade em controlar o fluxo do ventilador (nota 5,5) e dificuldade na regulagem dos espelhos retrovisores (nota 4).

O usuário 3, do VW Gol 2013 pertence à mesma empresa do usuário 1. Do mesmo modo que o usuário 1, relatou insatisfação nos controles relativos à janela (nota 4) inadequação na operação do freio de mão (nota 4) , certa dificuldade em localizar, acionar e se informar sobre o status do desembacador traseiro (nota 5) e dificuldade de controle do fluxo do ventilador (nota 2)

O usuário 4, que também realiza rondas de automóveis em um GM Celta 2006, relatou porta malas (nota 5) e ventilador (nota 5) como itens que necessitam ser aprimorados.

O usuário 5 cuja profissão é realizar manutenção da rede de comunicação da empresa NET e utiliza Fiat Novo Uno 2014 citou a piora da embreagem com o tempo (nota2) e dificuldade de engatar a marcha ocasionalmente (nota 6) dois itens interligados.

O usuário 6 dirige um carro antigo, GM Trafic 1994, tipo furgão para transporte de alunos do ensino fundamental e médio. Relatou dificuldade em acionar o

desembaçador traseiro (nota 3) além da sua localização ruim, dificuldade em ajustar e visualizar através do espelho central interno (nota 2) além dos controle ineficientes do ar condicionado e ventilador (ambos nota 2)

O usuário 7, de um GM Classic 2013, relatou satisfação com o carro, com um pequena ressalva da embreagem (nota 6), que exige certo esforço além do confortável em sua operação.

O usuário 8 (Fiat Uno 2008) mostrou insatisfação com o controle da janela manual janela (nota 4) , do tipo manivela cujo sentido de rotação confunde o motorista, muitas vezes girando em sentido contrário ao desejado. Também citou insatisfação com marcha (nota 4) e procedimento de abertura do porta-malas (nota 5).

Usuário 9 (Fiat Palio 2009) citou controles ruins do retrovisor (nota 5) , de difícil operação e pouca precisão, além de certa dificuldade em localizar e acionar outros controles como desembaçador traseiro, limpador do pára-brisa e ventilador (todos nota 6).

Usuário 10 (Ford Fusion) carro de qualidade superior possui boas avaliações, com ressalva no espelho interno (nota 6), com dificuldade de ajuste e visualização.

#### *Resumo das avaliações obtidas*

Com os dados obtidos, podemos concluir que a pesquisa reflete opiniões importantes dos usuários a respeito das condições de operabilidade dos automóveis. Notamos que alguns usuários de carros populares apresentam queixas a respeito do sistema de transmissão embreagem-marcha (usuário 1, usuário 5, usuário 8). Carros populares da Fiat receberam notas baixas nesse quesito, indicando um ponto de atenção a ser considerado nos próximos projetos de automóveis.

Os controles das janelas e do ventilador também apresentaram notas baixas em alguns veículos populares, refletindo a insatisfação dos usuários em relação seu layout e sua operabilidade. Embora haja a restrição do custo embutido nos veículos, os usuários mostraram-se bastante conscientes a respeito deste aspecto, indicando que suas notas baixas refletem os padrões médios esperados para os veículos populares, e também consideram como referência os veículos da concorrência. Em outras palavras, algumas das notas baixas refletem um desempenho abaixo da média de mercado.

A pesquisa também indica que a embreagem é um ponto de atenção a ser considerado nos automóveis da GM, pois recebeu avaliações abaixo da média mesmo em modelos diferentes, incluindo suas versões mais sofisticadas.

Outro fator constatado é que a dificuldade de execução de certos comandos ocorre devido ao fato de coexistirem demandas simultâneas do motorista. Portanto a facilitação de controles é fundamental para reduzir a carga do operador (motorista) e reduzir risco de acidentes.

Com a pesquisa foi possível obter algumas constatações importantes a respeito dos controles durante a interação com os entrevistados. As fotos abaixo mostram o acionamento da janela (à esquerda) e o freio de mão (direita) do modelo gol 2008. A manivela da janela localiza-se muito à frente e a uma altura baixa, dificultando seu alcance para a maioria dos usuários. A manivela, ao exigir rotação, dificulta o procedimento de controle (abertura/fechamento). O problema se agrava quando o motorista necessita abrir outras janelas, como a do passageiro dianteiro ou traseiro. No caso do passageiro dianteiro, o movimento geralmente exige um desconfortável deslocamento do motorista. O freio de mão na figura possui sua base exposta, gerando problemas como risco de acidentes, acúmulo de sujeira, etc. Portanto recomenda-se priorizar janelas automáticas nos veículos populares.



**Figura 34: Dois itens citados como pontos a serem melhorados pela pesquisa**

Os controles automáticos de janelas possuem 2 configurações na imensa maioria dos modelos. Podem encontrar-se na região do console (próxima figura à esquerda) ou na porta do motorista, na região do apoio do braço esquerdo (próxima figura à direita).

A maioria dos entrevistados prefere a segunda disposição por dois motivos: pela facilidade de uso (localização esperada) e pela possibilidade de controlar as quatro janelas, em contrapartida com duas janelas do modelo oposto. Outro fator que determina a preferência pelo segundo modelo é a possibilidade de usar a mão esquerda para o controle, que é a menos utilizada que a mão direita na atividade de direção (sendo esta utilizada para diversos fins: troca de marcha e controle do painel principalmente). Portanto recomenda-se o segundo modelo do ponto de vista ergonômico.



**Figura 35: Dois Layouts possíveis de controle de janelas**

As fotos abaixo ilustram dois displays de controles de clima (ventilador e ar condicionado). A primeira (lado esquerdo) apresenta a melhor configuração por adotar alguns princípios listados por recomendações de controles da SAE. O alcance dos controles apresenta-se mais próximos ao motorista do que o segundo caso. Isso facilita o processo de leitura, interpretação, execução do controle e retomada da atenção à pista pelo motorista. Quaisquer atividades de execução de controles no painel exigem o desvio da atenção do motorista da pista para o painel. Quanto menor o tempo e esforço necessário para o acionamento melhor, pois o motorista deve manter a atenção na pista o maior tempo possível para reduzir risco de acidentes. Os controles também estão organizados por freqüência de uso, sendo que o mais utilizado (regulador do fluxo de ar) encontra-se na região mais alta, o que demanda menos deslocamento dos olhos em relação à pista.



**Figura 36: Dois exemplos de layouts de controles. O layout da esquerda atendem melhor às recomendações técnicas da SAE**

Podemos concluir que a pesquisa apresentada anteriormente apresenta importantes insumos para avaliar o desempenho ergonômico dos itens do veículo, ajudando a melhorar futuros projetos e avaliar os projetos anteriores. Com esta pequena pesquisa foi possível levantar importantes pontos de atenção a serem considerados em futuros projetos de automóveis. A avaliação e classificação dos itens ajudam a priorizar os itens mais importantes do ponto de vista do consumidor, fator determinante na escolha do veículo e na sobrevivência da empresa.

A atribuição de notas permite o cálculo objetivo de ratings que refletem diretamente a opinião do consumidor, que não foi feita neste caso porque não faria sentido calcular a média de automóveis diferentes. No entanto a pesquisa pode ser aplicada em maior escala através de uma amostragem maior que permita auferir adequadamente a opinião da população como um todo.

Tal pesquisa permite obter análise do desempenho ergonômico mais precisamente, com foco voltado na avaliação ergonômica através de diversos critérios elaborados especificamente para obtenção de dados e conclusões a respeito do desempenho ergonômico. Assim, a área de Fator Humano terá uma base mais consistente sobre a qual pode orientar futuras direções ergonômicas em projetos.

Com esta pequena amostra foi possível inferir constatações importantes, validando os resultados da pesquisa. Amostras maiores e mais adequadas podem prover importantes insumos da hora de decidir a configuração dos itens do veículo, que estará muito mais adequado ao consumidor.

## 6. CONCLUSÃO

O framework apresentado tem como finalidade propor uma sugestão de melhoria dentro dos processos de ergonomia na General Motors . A partir do mapeamento do PDA analisou-se o papel da ergonomia durante o processo de desenvolvimento do veículo. Com a visão geral da ergonomia no Processo de Desenvolvimento do Automóvel foi possível ter um melhor entendimento das aplicações, métodos e ferramentas utilizadas no campo da ergonomia, disciplina de extrema importância no processo de criação e melhoria de modelos de automóveis. Com apoio da infraestrutura do departamento de TTO e da equipe do RAMSIS, foi possível entender as funções e limitações dos softwares de ergonomia que simulam o comportamento humano nas atividades de interação homem-veículo.

Com o papel fundamental da ergonomia nos processos do desenvolvimento do automóvel, pode-se entender sua interação e atribuições ao longo das etapas de criação e melhoria dos veículos, que permitem identificar pontos de melhoria que foram propostas neste presente trabalho. A ergonomia é uma peça fundamental na estratégia da companhia, que pode gerar vantagem competitiva de longo prazo, possível de se obter somente com processos contínuo de avaliação e melhoria do desempenho ergonômico oferecido pelos automóveis da empresa.

Com a proposição do método apresentado anteriormente, busca-se obter *feedback* direto do consumidor a respeito dos aspectos específicos de ergonomia no veículo, e priorizar os itens de melhoria mais importantes de acordo com a perspectiva do consumidor.

A partir das propostas de melhoria, a empresa pode buscar diferenciação em relação aos concorrentes neste acirrado mercado, buscando resultados contínuos e de longo prazo.

## 7. REFERÊNCIAS

- BIAZIN, M. **Dirigindo com Saúde.** Sindicato dos Transportadores Autônomos de Escolares de Jundiaí e Região. Disponível em <[http://www.sintrejur.com.br/sintrejur/view\\_noticia.asp?noticiaID=39](http://www.sintrejur.com.br/sintrejur/view_noticia.asp?noticiaID=39)>. Acesso em 23/12/2013.
- BHISE, Vivek D. **Ergonomics in the Automotive Process Design Process.** Nova Iorque: CRC Press, 2012.
- BOVENZI, M.; BETTA, A. **Low back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole- body vibration and postural stress.** Grã-Bretanha: Applied Ergonomics, Oxford, v. 25, n.4, Aug. 1994
- CHAFFIN, D. B.; ANDERSSON, G. B. **Occupational biomechanics.** 2. ed. John Wiley & Sons, 1991.
- FALZON, P. **Ergonomia.** São Paulo: Editora Blücher, 2007.
- GALBRAITH, J.; Downey, D.; Kates, A. **Estudo Projeto de Organizações Dinâmicas.** Porto Alegre: Bookman,, 2011.
- GRANDJEAN, E. **Ergonomics in computerized offices,** 5 reimpressão. Grã Bretanha : Taylor e Francis, 1998.
- COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho.** v. I. Belo Horizonte: Ergo, 1995.
- Interntional Economics Association. Disponível em <<http://www.iea.cc/>> . Acesso em 24/08/2013
- HANSON, D. et al. **Pressure Mapping: A new Path to pressure - Ulcer prevention.** Wound Care Advisor. Issue1, Number1. 2012
- HENDERSON, Bruce D. **As origens da estratégia.** In: MONTGOMERY, Cynthia A., PORTER, Michael E. (Orgs.). Estratégia: a busca da vantagem competitiva. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- HOFFMAN, A.R. **A análise dos postos de condução de veículos de passeio para uso profissional sob ótica da ergonomia: Estudo de caso realizado com motoristas de táxi em São Paulo.** Revista - E-FAPPES, São Paulo, vol. 01, nº 01, Jan-Jun 2010
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005.
- KIM, J et al. **Physiological measurements of tissue health: implications for clinical practice.** Int Wound J. 30 de janeiro de 2012.
- LARICA, N.J. **Design de Transportes: Arte em função da mobilidade.** Rio de Janeiro: 2AB / PUC-Rio, 2003.

MATTAR, F.N. **Administração de varejo.** São Paulo: Campus, 2011.

MEZOMO, J. C. **Gestão da qualidade na saúde: Princípios básicos.** São Paulo: Manole, 2001.

MINOTTO, R. **A estratégia em organizações hospitalares.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.

MINTZBERG, H. *et al.* **O processo da estratégia: conceitos, contextos e casos selecionados.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. cap 8. p. 185-199.

MUNIZ, T.R. **Habitáculo veicular: percepções de design e ergonomia.** Actas de Diseño 7. Facultad de Diseño y Comunicación. Universidad de Palermo. 2009

OLIVEIRA, C.R. **A Atividade de vendas na era das relações: Uma análise da percepção da força de vendas de automóvel no mercado de Santos.** Tese de mestrado em gestão de negócios da Universidade Católica de Santos. 2005.

PEACOCK B; KARWOWSKI, W. **Automotive ergonomics.** Londres: Taylor e Francis, 1993.

RIBEIRO, T.M. *et al.* **Habitáculo veicular: percepções de design e ergonomia.** Diseño en Palermo. Encuentro Latinoamericano de Diseño.

SCHERRER, J. **Physiologie du travail (ergonomie).** Paris: Masson & Companie, Tome II, 1967.

WEBER, Julian. **Automotive Development Processes.** Nova Iorque: Springer, 2009.

RAMSIS 3.8User Guide. Human Solutions: Alemania.13 de julho de 2013

## 9. ANEXOS

### Anexo I: Pesquisa de campo

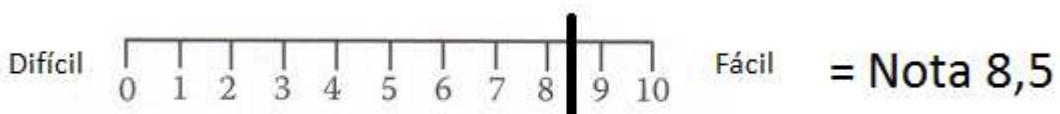
#### Pesquisa de avaliação do veículo

Qual é o modelo do veículo da empresa que você utiliza para seu trabalho? (Marca, modelo e ano)

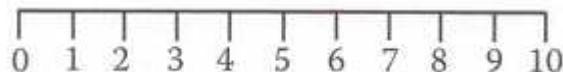
Quantas horas você utiliza o veículo por semana durante o trabalho?

Quais as principais atividades você realiza enquanto dirige o veículo no trabalho?

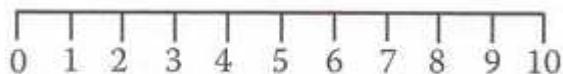
Avalie os seguintes itens do carro de acordo com a facilidade/ dificuldade de uso e ajuste dos comandos apresentados, atribuindo notas de 0 a 10.  
Exemplo:



Maçaneta externa



Trava das portas



Controle das janelas



Acionamento do  
desembaçador traseiro



Acionamento do  
limpador do pára-brisa



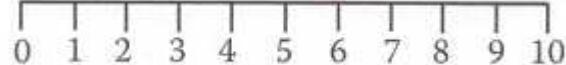
Espelho central interno



Espelhos retrovisores



Embreagem



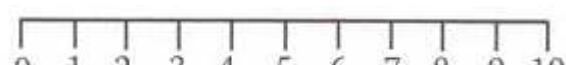
Marcha



Freio de mão



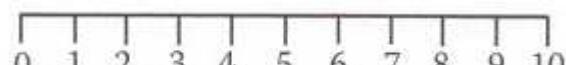
Abertura do porta-malas



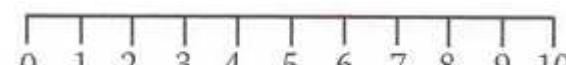
Ar condicionado



Ventilador



Controles do rádio



Abertura do capô



**Comentários livres sobre a operabilidade dos controles do veículo.**

**Possui alguma reclamação ou sugestão de melhoria?**

**Anexo II: atribuição de notas dos usuários**

	Usuário 1 - VW Gol 2013	Usuário 2 - Fiat Vivence 2013	Usuário 3 - Gol 2013	Usuário 4 - GM Celta 2006	Usuário 5 - Fiat Novo Uno 2014
<i>Principal atividade</i>	Patrulha	Visita clientes	Patrulha	Ronda em condomínio	Manutenção da Rede NET
<i>Maçaneta externa</i>	5	7	7	10	10
<i>Trava das portas</i>	8	7,5	9	10	10
<i>Controle das janelas</i>	6	5	4	10	10
<i>Acionamento do desembaçador traseiro</i>	10	7	5	10	10
<i>Acionamento do limpador do parabrisa</i>	7	7	9	10	10
<i>Espelho central interno</i>	10	8	8	10	8
<i>Espelhos retrovisores</i>	10	4	8	10	10
<i>Embreagem</i>	4	7	8	10	2
<i>Marcha</i>	10	8	8	10	6
<i>Freio de mão</i>	8	8	4	10	10
<i>Abertura do porta-malas</i>	5	6,5	7	5	10
<i>Ar condicionado</i>	-	-	-	-	10
<i>Ventilador</i>	7	5,5	2	5	10
<i>Controles do rádio</i>	7	6,5	9	10	10
<i>Abertura do capô</i>	10	7,5	7	10	10

	Usuário 6 - GM Trafic 1994	Usuário 7 - GM Classic 2013	Usuário 8 - Fiat Uno 2008	Usuário 9 - Fiat Pailo 2009	Usuário 10 - Ford Fusion 2010
<i>Principal atividade</i>	Transporte Escolar	Visita Cliente	Escolta Armada	Ronda em condomínio	Motorista Executivo
<i>Maçaneta externa</i>	10	10	8	9	10
<i>Trava das portas</i>	10	10	10	7	10
<i>Controle das janelas</i>	4	10	4	8	10
<i>Acionamento do desembaçador traseiro</i>	3	10	8	6	10
<i>Acionamento do limpador do parabrisa</i>	10	10	9	6	9
<i>Espelho central interno</i>	2	10	8	7	6
<i>Espelhos retrovisores</i>	10	10	10	5	7
<i>Embreagem</i>	10	6	9	8	10
<i>Marcha</i>	10	10	4	7	10
<i>Freio de mão</i>	10	10	5	8	10
<i>Abertura do porta-malas</i>	5	10	3	9	10
<i>Ar condicionado</i>	2	10	5	5	10
<i>Ventilador</i>	2	10	7	6	10
<i>Controles do rádio</i>	10	10	7	7	10
<i>Abertura do capô</i>	10	10	8	9	10