



**ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Leonardo Cardoso Rosa

**DESENVOLVIMENTO DE CARENAGEM PARA
MINIVEÍCULO VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
COM BASE NA BIÔNICA**

Porto Alegre

2013



**ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Leonardo Cardoso Rosa

**DESENVOLVIMENTO DE CARENAGEM PARA
MINIVEÍCULO VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
COM BASE NA BIÔNICA**

Dissertação submetida ao Programa
de Pós-Graduação em Design da
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul para a obtenção do Grau de
Mestre em Design.
Orientador: Prof. Dr. José Antônio
Esmerio Mazzaferro

Porto Alegre

2013

**Catlogação na fonte elaborada pela biblioteca da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

CIP - Catalogação na Publicação

Cardoso Rosa, Leonardo
DESENVOLVIMENTO DE CARENAGEM PARA MINIVEÍCULO
VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM BASE NA BIÔNICA /
Leonardo Cardoso Rosa. -- 2013.
115 f.

Orientador: José Antônio Esmerio Mazzaferro.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura,
Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-
RS, 2013.

1. eficiência energética. 2. miniveículo. 3.
Biônica. I. Esmerio Mazzaferro, José Antônio, orient.
II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).



Leonardo Cardoso Rosa

**DESENVOLVIMENTO DE CARENAGEM PARA MINIVEÍCULO VISANDO
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM BASE NA BIÔNICA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Design em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 15 de fevereiro de 2013.

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Antônio Esmerio Mazzaferro
Orientador
Universidade UFRGS

Prof. Dr. Patric Daniel Neis
Universidade UFRGS

Prof. Dr. Ney Francisco Ferreira
Universidade UFRGS

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira
Universidade UFRGS

AGRADECIMENTOS

Ao Professor e meu Orientador José Antônio Esmerio Mazzaferro por ter me aceitado como aluno e me dado suporte durante a realização do trabalho.

Aos meus Professores pelos ensinamentos que serviram de base para realização do trabalho.

Aos meus pais, Gerson Rosa e Neuza Terezinha Cardoso Rosa, e esposa, Juliana Bertoletti, que apoiaram desde sempre, incentivando de maneira positiva na evolução acadêmica, e pela paciência nos momentos que tive que priorizar os estudos.

A CAPES, FINEP, CNPQ, e outros órgãos que deram subsídios para realização da pesquisa realizada no Laboratório de Design e Seleção de Materiais.

Ao Museu de Paleontologia da UFRGS pela disponibilização do Límulus.

Ao Coordenador do curso de Graduação em Design de Produto da Uniritter, Prof.º Ms. Júlio César Caetano da Silva, e ao professor Mauro Martin por terem me recomendado ao programa de Pós Graduação da UFRGS.

Ao Atelier Selmo Ramos por disponibilizar espaço para a produção do protótipo, e por contribuir durante a execução do mesmo.

Agradeço ainda ao André Zolko Gasko da Engenharia Mecânica, que me auxiliou nos testes de CFD, no CESUP da UFRGS.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo gerar subsídios para futuros estudos que busquem desenvolver carenagens de miniveículos com eficiência energética. Para tanto, são realizados estudos de diversas técnicas que podem influenciar no melhor desempenho com redução de consumo considerando menor perda de energia no ciclo de vida do produto usando os princípios da Ecologia. A partir da fundamentação teórica, foi desenvolvida uma carenagem aplicando a metodologia de Biônica baseada na forma do Límulus que é o ser vivo mais antigo do planeta. Foram utilizados recursos de tecnologia computacional para captura de seu formato, e utilização de softwares paramétricos para realização de análises de elementos finitos testando a eficiência de sua forma. Posteriormente foi proposto um desenho com uso de acessórios aerodinâmicos para verificação de seus comportamentos, que atendeu aos requisitos do projeto, adequando às questões de ergonomia e legislação nacional de trânsito. Por fim, foi construído um protótipo em escala real para realização de testes práticos e demonstração de técnicas para sua execução. Os resultados obtidos servirão de referência como método de desenvolvimento para novos miniveículos que se propõem a ter eficiência energética.

Palavras chave: eficiência energética; miniveículo; Biônica

ABSTRACT

This study aims to generate subsidies for future research about the development of car body for mini vehicle with energy efficiency. For such purpose, diverse techniques that may influence on better performance with consumption reduction were studied, considering lower loss of energy during the life cycle of the product using the principles of Ecology. Based on academic background, a car body was developed applying Bionics methodology, more specifically the shape of Limulus, which is the oldest live being on the planet. Resources from computational technology were used to capture its format, as well as parametric software for finite element analysis testing the efficiency of its shape. Subsequently a design was proposed using aerodynamics accessories to verify its behavior, which met the requirements of the project, adapting to ergonomic issues and national traffic legislation. Lastly, a prototype was built in real scale for implementation of practical tests and technique demonstration. The results obtained can be used as a reference of development method for new mini vehicles with the purpose of having energy efficiency.

Keywords: energy efficiency; minivehicle; Bionics

SUMÁRIO:

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO.....	13
1.3 QUESTÃO DE PESQUISA.....	15
1.4 OBJETIVOS.....	15
1.4.1 Objetivo geral.....	15
1.4.2 Objetivos específicos.....	15
1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	16
1.5.1 Taxonomia de Problemas Projetuais.....	16
1.5.2 Diretrizes de Package.....	17
1.5.3 Diretrizes de Uso	17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19
2.1.1 Metodologia Nelson Back.....	19
2.1.2 Método de Gui Bonsiepe aplicado ao design.....	21
2.1.3 Método de Biônica proposto por Wilson Kindlein (2005).....	22
2.2 MINIVEÍCULOS.....	24
2.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	25
2.4 ANÁLISE DIACRÔNICA.....	26
2.5 ANÁLISE SINCRÔNICA.....	29
2.6 TIPOS DE MINIVEÍCULOS.....	31
2.7 DEFINIÇÕES DIMENSIONAIS.....	36
2.8 TÉCNICAS PARA MELHORAMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	40
2.8.1 Ecodesign.....	40
2.8.2 Reciclagem e a estratégia ambiental das montadoras.....	42
2.8.3 Elementos de junção.....	45
2.8.4 Aerodinâmica.....	47
2.8.4.1 Modelos e simulações virtuais.....	48
2.8.4.2 Conceito de camada-limite.....	48
2.8.4.3 Resistência aerodinâmica.....	49

2.8.4.4	Descolamento da camada-limite e turbulência.....	51
2.8.4.5	Ventos laterais.....	51
2.8.4.6	Forma de gota – carenamento.....	52
2.8.4.7	Princípio De Jaray (Forma J)	55
2.8.4.8	Princípio de Kamm (Forma K)	56
2.8.4.9	Estudos de Lay.....	57
2.8.4.10	Efeito bola de golf.....	58
2.8.4.11	Aerofólio.....	58
2.8.4.12	Winglet / flaps / defletores / aba de Gurney.....	59
2.8.4.13	Palhetas direcionais – geradores de vórtices.....	60
2.8.4.14	Influência do arredondamento das arestas laterais.....	60
2.8.4.15	Cantos e ranhuras transversais.....	61
2.8.4.16	DISTRIBUIÇÃO D PRESSÃO.....	61
2.8.4.17	Dinâmica dos fluidos computacional.....	63
2.8.5	Materiais.....	64
2.8.5.1	Compósitos Sintéticos e Naturais.....	65
2.8.5.2	Resinas naturais.....	66
2.8.5.3	Fibras vegetais.....	66
2.8.5.4	Fibra de cisal.....	66
2.8.5.5	Fibra de coco.....	67
2.8.5.6	Fibra de curauá.....	67
2.8.5.7	Reciclagem de compósitos.....	67
2.8.6	Biônica.....	69
2.8.6.1	Escolha do Límulus como referência.....	73
2.8.6.2	Tempo Geológico	74
2.8.6.3	Classificação taxonômica – Artrópodes.....	75
2.8.6.4	Características Fisiológicas.....	75
CAPÍTULO 3: PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....		76
3.1	APLICAÇÃO DOS CONCEITOS E TESTES.....	76
3.2	ANÁLISE ESTRUTURAL.....	78
3.3	ANÁLISE FUNCIONAL.....	79
3.4	PARAMETRIZAÇÃO.....	85
3.5	ANALOGIA ENTRE O SISTEMA NATURAL E O PRODUTO.....	87

3.6 ANÁLISE ERGONÔMICA.....	88
3.7 GERAÇÃO SISTEMÁTICA DE ALTERNATIVAS.....	90
3.8 DESENVOLVIMENTO DE CARENAGEM PARA TESTAR A TÉCNICA DE TECIDO COM RESINA.....	95
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	96
4.1 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS.....	96
4.2 ETAPAS DA PROTOTIPAGEM.....	101
4.3 AVALIAÇÕES DOS RESULTADOS.....	105
4.3.1 Resultados dos testes de elementos finitos de fluidos dinâmicos.....	105
4.3.2 Resultados da construção do protótipo.....	105
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES.....	107
CAPÍTULO 6: SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	109

LISTA DE FIGURAS:

- Figura 1: Proposição de Modelo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
- Figura 2: Etapas do processo de criação
- Figura 3: Esquematização - Método
- Figura 4: Distribuição dos assentos
- Figura 5: Disposição das rodas
- Figura 6: Análise Diacrônica
- Figura 7: Lista de características
- Figura 8: Propaganda Romi-Isetta
- Figura 9: Veículos competição Shell Eco-marathon
- Figura 10: Smart Fortuo estacionado
- Figura 11: Microcarro estacionado em vaga de motocicleta
- Figura 12: Microcarro no contexto do trânsito
- Figura 13: E-Z-GO modelo de veículos elétricos da “vizinhança”
- Figura 14: Veículos de três rodas elétricos para locação
- Figura 15: Velomóvel em viagem de férias no norte do círculo polar
- Figura 16: Velomóveis praticando ecoturismo
- Figura 17: Posicionamento mercadológico do Velomóvel
- Figura 18: Camada-limite (linha tracejada)
- Figura 19: Correlação entre arrasto de atrito e arrasto de pressão
- Figura 20: Comparativo forças de arrasto
- Figura 21: Meia-gota, com fluxo simétrico imaginário
- Figura 22: Gota assimétrica
- Figura 23: Formas de carenagens propostas por Jaray
- Figura 24: Forma de Jaray modificada
- Figura 25: Área de turbulência para as formas de Kamm e Jaray
- Figura 26: Modelo usado por Lay em seus estudos
- Figura 27: Aba de Gurney
- Figura 28: Palhetas direcionais no ponto de transição
- Figura 29: Utilização de cantos auxiliares em locais de deslocamento da camada limite
- Figura 30: Uso de traseira alta para redução de forças de sustentação na parte frontal

- Figura 31: Uso de spoiler na dianteira do veículo
- Figura 32: Forma geometria provável da carenagem do futuro
- Figura 33: Veículo inspirado no peixe Boxfish
- Figura 34: Modelo CAD da carenagem veicular
- Figura 35: Representação da superfície não lisa e variáveis a considerar
- Figura 36: Foto do Límulus
- Figura 37: Semelhança formal entre Límulus e miniveículo
- Figura 38: Análise estrutural do Límulus
- Figura 39: Análise estrutural do miniveículo
- Figura 40: Scanner Vivid 9i Konica Minolta
- Figura 41: Geomagic Stúdio 10
- Figura 42: Superfície Límulus após união das camadas
- Figura 44: Desenho do caminho a ser percorrido pela fresa de usinagem
- Figura 45: Produção de bloco de gesso
- Figura 46: Usinagem do bloco de gesso com equipamento de CNC do LDSM
- Figura 47: Extração do corpo laminado em fibra de vidro Fonte: autor
- Figura 48: Modelo do Límulus reproduzido em Fibra de vidro
- Figura 49: Desenhos de observação feitos a mão livre
- Figura 50: Geometrização esboço dos elementos principais do Arquétipo
- Figura 51: Perfil Vista Lateral do Límulus gerada a partir da imagem tridimensional
- Figura 52: Sobreposição das vistas ortogonais para geração de superfície
- Figura 53: Modelagem 3D obtida a partir das linhas ortogonais simplificadas do Límulus
- Figura 54: Analogia ao formato de carenagem
- Figura 55: Estudo de viabilidade de adaptação do formato à ergonomia de dois usuários
- Figura 56: Estudo ergonômico de adaptação da forma ao uso
- Figura 57: Geração de alternativas esboçadas a mão
- Figura 59: Modelagem tridimensional a partir das vistas ortogonais e obtenção da geometria
- Figura 60: Geração de alternativas – modelagem tridimensional
- Figura 61: Estudo de formas para abertura da porta frontal e acomodação dos usuários internamente

- Figura 62: Verificação compatibilidade da carenagem gerada com o estudo ergonômico
- Figura 63: Vista lateral do modelo escolhido com posicionamento das caixas de roda
- Figura 64: Vistas em perspectiva da alternativa escolhida
- Figura 65: Desenvolvimento da carenagem com aplicação de fatores de eficiência aerodinâmica, iluminação, entradas de ar e espelhos retrovisores
- Figura 66: Teste aplicação de tecido + resina sobre estrutura
- Figura 67: Análise de elementos finitos – teste de deformação
- Figura 68: Testes de CFD aplicados pelo software ANSYS para obtenção dos resultados preliminares para posterior comparação às formas desenvolvidas.
- Figura 69: Demonstração de como foram obtidos resultados de CFD
- Figura 70: Construção da Malha - seção central 2D no plano de simetria
- Figura 71: Gráfico que analisa velocidade do fluxo de ar demonstra diminuição da
- Figura 72: Comparativo dos resultados a partir do acréscimo de rabeta aerodinâmica objetivando uma separação mais suave do fluxo de ar
- Figura 73: Geometria sem rabeta nem acessórios aerodinâmicos - teste CFD
- Figura 74: Geometria com ranhuras transversais, palhetas direcionais que poderiam ser aplicadas mais a frente induzindo a diminuição de mudanças de direção do fluxo de ar
- Figura 75: Modelo Escolhido com menor formação de esteira - Geometria com ranhuras transversais, aba de Gurney e winglet
- Figura 76: Construção do perfil central escala 1:1 em Isofoam
- Figura 77: Estruturação do aramado para dar a forma desejada
- Figura 78: Aplicação de tecido de fibra de vidro sobre a armação metálica
- Figura 79: Aplicação de gesso para regularização da superfície
- Figura 80: Aplicação de filme plástico e gelcoat para execução da pré-forma
- Figura 81: Após secagem de 24h foi removida a pré-forma do modelo em gesso
- Figura 82: Executada laminação de protótipo em casca para recortes e definições das janelas e detalhes aerodinâmicos

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1 - Tipos de materiais mais utilizados na indústria automotiva	44
Tabela 2 – Princípios de Junção – Proposição LDSM (Adaptado de Kindlein et al, 2002).....	46
Tabela 3 - Estudo de Lay – Coeficiente Arraste Comprimento / Modelo Frente.....	58
Tabela 4 – Definição dos Fatores Projetuais – Hierarquização crescente de grau de relevância.....	76
Tabela 5 – Analogias funcionais Límulus X Miniveículo	80

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos, o homem modificou mais o ecossistema do que em toda a história da humanidade. A concentração de CO₂, principal causador do aquecimento global, passou de 280ppm (partes por milhão) para 376ppm de 1750 a 2003, sendo que 60% desse aumento ocorreu depois de 1959 (ALMEIDA, 2007). Os problemas decorrentes do crescimento populacional já são sentidos, especialmente nos grandes centros urbanos, onde se observa frequentemente congestionamentos, poluição, maior número de acidentes de trânsito, aumento do tempo necessário para deslocamentos, despesas elevadas advindas do consumo exagerado de combustível, entre outros.

A Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2012), estima que existem cerca de 29,6 milhões de veículos rodando no território brasileiro, sendo 3,6 milhões licenciados no ano de 2011 para rodarem nas ruas do país. A quantidade de veículos automotores fabricados mundialmente aumentou para em torno de 80 milhões no ano de 2012. Houve com isso um aumento na produção mundial de 35% de 2002 a 2011, e na taxa de crescimento da produção de 2010 para 2011 de 3,2%. O aumento significativo da frota de veículos automotores que acarreta o grande número de congestionamentos nos centros urbanos, aumento da poluição causada por eles durante o ciclo de vida, despesas aumentadas com consumo exagerado, graves acidentes de trânsito, entre outros, corrobora a necessidade de ações para diminuir os danos provocados por essas situações.

Os impactos ambientais gerados pelos veículos são em grande parte causados por características que não agregam ao seu desempenho final, mas sim relacionadas a questões atreladas ao status. Estudos que abordam esse tema de maneira crítica contribuem para a conscientização por parte dos consumidores e também pelos promotores do desenvolvimento de suas tecnologias. Dessa forma, as questões pertinentes à mobilidade urbana e meios de melhoramento das condições de tráfego são urgentes em face do impacto ambiental que acarretam ao meio ambiente, tanto nas questões de queima de combustível para locomoção, quanto no restante do ciclo de vida dos veículos.

O incentivo fiscal que o governo tem dado a ações sustentáveis, em conjunto com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil - 2010), responsabilizando os produtores pelo ciclo de vida dos produtos, está levando as indústrias a se adequarem aos novos conceitos de sustentabilidade. O enfoque ambiental é tão importante quanto o social e o econômico, pois acarreta benefícios à melhoria da qualidade de vida dos consumidores e das condições do meio ambiente em geral. Assim, fabricantes do mundo inteiro estão vislumbrando o potencial de mercado dos miniveículos, que apresentem entre suas características a possibilidade de aplicação de novas técnicas projetuais, ecologicamente corretas e eficientes, em termos de diminuição do consumo de energia.

Diante do exposto, os miniveículos tem se tornado uma vertente de design automotivo, despontando como uma alternativa para a redução do volume de tráfego urbano e redução do consumo energético. Este trabalho tem por objetivo desenvolver a carenagem de um miniveículo com base na biônica, e avaliar diferentes meios de melhoramento da eficiência energética aplicados no desenvolvimento de carenagens automotivas. A Biônica se apresenta como uma metodologia com capacidade de gerar soluções eficientes para resolver problemas na construção de produtos no meio artificial. Por meio da observação e do estudo dos modelos da natureza, a Biônica analisa e recupera soluções funcionais, estruturais e formais para aplicá-las na resolução de problemas humanos, gerando tecnologias e concepção de objetos e sistemas (AGE; PAZMINO, 2011).

1.1 JUSTIFICATIVA

Cresce a busca por alternativas mais simples, eficientes e adequadas às realidades econômicas e possibilidades locais, com baixo investimento e implantação rápida, mesmo que sejam soluções 'temporárias', adequadas para os próximos 15 ou 20 anos (NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, 2009). Alguns pesquisadores têm estudado os aspectos cruciais da competitividade e sustentabilidade nos processos de manufatura, que devem ser projetados e desenvolvidos com objetivo de reduzir, eliminar ou reciclar dejetos. Para isso, tais processos devem evitar substâncias químicas ou agentes físicos que

apresentem prejuízo à saúde do homem ou do ambiente. (INGARAU; DI LORENZO; MICARI, 2009).

Segundo o Anuário da ANFAVEA (2012), um novo ciclo para a indústria automobilística no país está iniciando no período 2013-2017, com renovado compromisso de toda a cadeia automotiva quanto ao atendimento de metas de nacionalização e de investimentos em engenharia e inovação. A valorização da produção nacional deverá ser complementada com políticas setoriais específicas e com políticas estruturais de competitividade para o país, objetivando fortalecer a capacidade competitiva da indústria nacional e da própria economia brasileira nos próximos anos.

O desenvolvimento de soluções alternativas para a utilização de veículos com menor consumo de combustível traz inúmeras vantagens, não somente relacionadas à redução de custos financeiros, mas também à diminuição de emissões poluentes que são jogados no meio ambiente através do sistema de exaustão, de calor, exploração para produção e descarte. Assim sendo, a proposta desse trabalho vai ao encontro da preocupação já expressa pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – (CONAMA), que através da criação de políticas de controle e redução da poluição atmosférica por fontes móveis vêm fixando prazos, limites máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados (IBAMA, 2011). Também está de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos que responsabiliza de maneira compartilhada todos os participantes da cadeia do ciclo de vida dos produtos, desde os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, titulares de serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos sólidos, até os consumidores, para que tenham atitudes ambientalmente adequadas.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

De acordo com dados da Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos - Brasil (NTU, 2009), mais de 50% da população mundial esteve concentrada em meios urbanos no ano de 2008. Nas cidades brasileiras, o efeito

dessa transição para a urbanização se reflete em cerca de 200 milhões de deslocamentos diários em veículos motorizados, um problema que tende a se agravar trazendo prejuízos sobre a produtividade, o meio ambiente e a qualidade de vida. Algumas alternativas têm sido adotadas por grandes metrópoles que chegaram ao seu limite de capacidade de tráfego, como é o caso de São Paulo, que utiliza o sistema de rodízio de veículos para diminuir a quantidade de carros nas ruas em determinados dias e horários. No entanto, muitas pessoas compram outros veículos com placas diferentes para que possam revezar os carros, o que torna essa alternativa de gestão do tráfego urbano muitas vezes ineficaz.

Driblar o trânsito congestionado, estacionar facilmente, consumir menos combustível e causar menos impacto ambiental estão se tornando desejo de muitas pessoas, que cada vez mais se conscientizam do problema gerado pela “obesidade” dos veículos com volumes mal aproveitados. Dessa forma, os minicarros ou miniveículos surgem como uma alternativa no setor automobilístico, pois atendem a um público diferenciado que pensa de maneira sustentável. A praticidade é um dos principais fatores que fortalecem essa ideia, juntamente com a economia de combustível e consequente otimização do uso do veículo, com menor impacto à natureza.

Uma maneira para diminuição do consumo de combustíveis é a substituição dos motores convencionais a combustão por motores elétricos. No entanto, esses esbarram na dificuldade de manter uma autonomia razoável quando comparada aos veículos de combustão que possuem o reabastecimento simplificado em função da rede de postos de combustíveis, o que não acontece com veículos elétricos. Surge aí a possibilidade de aplicar os estudos para melhoramento de características que podem minimizar o consumo da energia necessária para movimentar os veículos.

Estima-se que o veículo contemporâneo consuma cerca de 80% de energia a mais do que é necessário para o seu deslocamento, e boa parte dessa energia é utilizada para impulsionar a massa do veículo. O que se busca é economizar cerca de 70 a 80% dessa energia desperdiçada. Para isso é necessário desenvolver um projeto de automóvel que reconfigure inteiramente três elementos básicos do design, que são: tornar o veículo mais leve, com peso de 2 a 3 vezes menor do que o carro

convencional; diminuir a resistência empregada em seu deslocamento, de maneira que ele possa deslizar e rodar na estrada com mais facilidade. Quando os passos anteriores tiverem reduzido à metade ou em $2/3$ a energia, tornar a propulsão para mover o veículo em elétrica, ou elétrica-híbrida (HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 2007).

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

Estudos aplicados a carenagens de minicarros demonstram que a melhora da sua eficiência energética está relacionada a modificações realizadas na aplicação de materiais e formas aerodinâmicas em sua geometria. Com base nos estudos aplicados em carenagens, é possível melhorar o desempenho de um miniveículo e torná-lo mais econômico em termos de utilização de energia com o uso da Biônica?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Desenvolver uma carenagem para miniveículo inspirada na natureza que tenha melhor eficiência em termos de desempenho e baixo consumo energético, baseada em metodologias de projeto de produtos e Biônica.

1.4.2 Objetivos específicos

- Gerar subsídios técnicos e material didático que possam contribuir com a cultura eco sustentável, oferecendo soluções alternativas para o desenvolvimento da carenagem de miniveículos;
- Investigar por meio computacional e experimental os resultados obtidos a partir da aplicação dos métodos;
- Descrever o processo metodológico para aplicação dos conceitos de Biônica visando melhorar a relação do produto com o meio ambiente.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Esta é uma pesquisa de caráter teórico-prático, ou seja, a primeira parte se destina à pesquisa bibliográfica e fundamentação teórica; a segunda parte tem foco na aplicação de métodos e coleta de dados obtidos a partir das técnicas aplicadas nas oficinas; na última etapa será possível avaliar as características que podem efetivamente melhorar o desempenho da carenagem, e executar seu protótipo.

1.5.1 Taxonomia de Problemas Projetuais

O que?

“A situação ou coisa que se deve melhorar. Os fatores essenciais do problema, os fatores influentes” (Bonsiepe, 1984).

Desenvolver a carenagem de um miniveículo de uso urbano para duas pessoas, voltado a melhorias da eficiência energética no ciclo de vida do produto.

Por quê?

“Os objetivos, as finalidades do projeto incluindo os requisitos e critérios que uma solução boa deve ter” (Bonsiepe, 1984).

Empresas em todo o mundo vêm buscando soluções para problemas ligados ao transporte urbano e menor agressão ao meio ambiente.

Como?

Baseando-se na Biônica, obter a forma a partir de um ser vivo que pode ser considerado eficiente por ser o mais antigo do planeta terra existente dos dias atuais. Testar suas capacidades através de ensaios computacionais, e interferir na forma com aplicação de acessórios baseados na teoria da aerodinâmica. Por fim elaboração de um protótipo.

1.5.2 Diretrizes de *Package*

- Configuração de *Package* (pré-determinação do posicionamento dos passageiros e distribuição dos espaços internos) reduzido, que possa ser adaptado para mais de uma ocasião do dia-a-dia no uso urbano, ou para momentos de lazer;
- Desenhar carro inovador, porém mantendo os paradigmas ergonômicos e de legislação;
- Adequar as dimensões ao mínimo necessário para comportar duas pessoas.

1.5.3 Diretrizes de Uso

- Contribuir para fatores como estacionamento, manutenção, troca de peças e entrada e saída.
- Primar pela ecologia, redução e adequada escolha de materiais e fácil separação dos componentes.

Para a realização deste trabalho, foram realizados ensaios no laboratório de Design e seleção de materiais - LDSM / UFRGS, nos laboratórios de ensaio do Departamento de Engenharia Mecânica / UFRGS, CESUP (Centro Nacional de Super Computação), no Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto / UFRGS e no Atelier Selmo Ramos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em seis capítulos: Introdução, Fundamentação Teórica, Procedimentos Metodológicos, Resultados, Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros.

Capítulo 1: introduz a contextualização do tema, delimitação do problema, formulação do problema de pesquisa, elaboração da hipótese de pesquisa, variáveis, objetivo geral e objetivos específicos, e justificativa da pesquisa.

Capítulo 2: é apresentada a fundamentação teórica, que descreve as metodologias que serviram de orientação ao desenvolvimento do projeto, apresenta os miniveículos juntamente com técnicas para o melhoramento da eficiência energética

através da aerodinâmica, tecnologia dos materiais, Ecodesign, sistemas de junção, análise de elementos finitos e Biônica.

Capítulo 3: são aplicadas metodologias de projeto e Biônica até a geração de alternativas, e também realização de testes práticos para posterior construção do protótipo.

Capítulo 4: são gerados resultados com aplicação de análises de elementos finitos computacional através de softwares de engenharia e design, e demonstração de técnicas para construção de um protótipo em escala 1:1. Após é realizada uma discussão sobre os resultados obtidos.

Capítulo 5: são realizadas considerações a respeito dos métodos, e resultados obtidos, juntamente com sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 6: são feitas sugestões para trabalhos futuros que possam complementar e/ou dar continuidade à pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas metodologias de projeto de autores distintos para atingir os objetivos propostos e chegar aos resultados com maior consistência. Nelson Back (2008), Gui Bonsiepe (1984), e Wilson Kindlein (2005) são os autores que serviram de referência para o desenvolvimento da pesquisa. Os métodos foram aplicados em conjunto para o desenvolvimento do projeto, e as diferentes etapas de cada metodologia foram utilizadas de acordo com o assunto abordado.

2.1.1 Metodologia Nelson Back

Segundo Back et al. (2008), as qualidades importantes que devem possuir os produtos, os processos e as ideias criativas são: apresentar novidade, serem únicos, serem úteis, apreciados e simples. Sendo assim, a criatividade é entendida como uma das habilidades dos designers em solucionar problemas de projeto propondo novas soluções para o produto com ideias úteis e diferentes. Também afirma que o processo criativo não depende unicamente da inspiração dos membros da equipe, mas pode ser alimentado através de métodos que se mostrem úteis na obtenção de um conjunto de soluções, de forma mais rápida e com resultados mais inovadores. Ele explica que para desenvolver um produto com eficácia, é necessário saber:

- o que fazer: um miniveículo com eficiência energética;
- para quem fazer: para usuários que necessitem mobilidade urbana;
- quando fazer: próximos anos para uso das novas gerações;
- com que fazer: com materiais ecológicos e eficientes;
- como fazer: através da aplicação de métodos, e uso da Biônica como fonte inspiradora para obtenção da forma.

Com base nisso, o autor elaborou uma metodologia para auxiliar o caminho do desenvolvimento de produtos industriais, e é apresentada abaixo na figura 1.



Figura 1: proposição de Modelo de Desenvolvimento Integrado de Produtos

Fonte: adaptado de Nelson Back, 2008

Também descreve um fluxo do processo criativo onde sugere etapas que contribuem ao desenvolvimento de novas idéias de maneira controlada e sistêmica conforme figura 2.

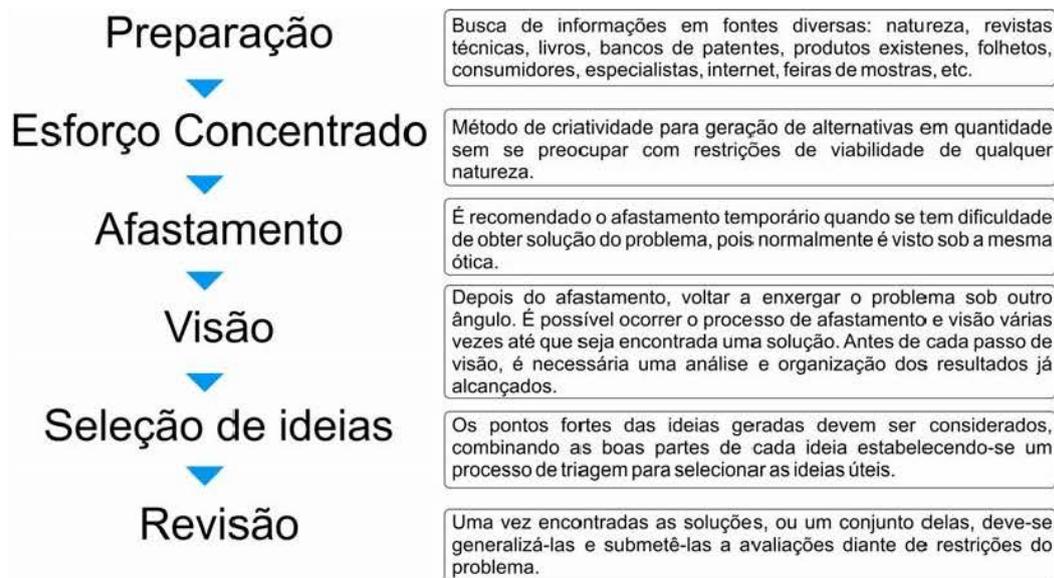


Figura 2: etapas do processo de criação

Fonte: adaptado de Back et al, 2008

2.1.2 Método de Gui Bonsiepe aplicado ao design

Gui Bonsiepe remodelou a imagem mediadora do design com a sociedade responsabilizando-o pela interação entre indivíduos e os objetos, anulando assim interpretações simplistas que evidenciam apenas os aspectos visuais cosméticos. Definiu o campo de ação do designer como “a interface”, por ser responsável pela ligação estrutural do usuário com o objeto, planejando a interação entre o corpo, a ferramenta e o objetivo da ação. Assim, o design cria sistemas que visam o controle da interface (perturbação) através da elaboração de projetos. “Temos que levar em conta que a interface não é uma coisa, mas o espaço no qual se estrutura a interação entre o corpo, ferramenta e objetivo da ação” (BONSIEPE, 1997, p. 12), complementa.

Sua obra teórica contribui para o surgimento dos termos Design Social e Design de interação que dão visibilidade para o processo de transformação social que ocorre a partir da interação do usuário com objetos e signos. Sua contribuição massiva para a atividade o coloca em evidência entre os teóricos mais atuantes em matéria de design.

Gui Bonsiepe, considera importante destacar que a metodologia projetual não deve ser confundida com um livro de receitas de bolo: “[...] receitas de bolo levam com certeza a um determinado resultado; técnicas projetuais só tem certa probabilidade de sucesso” (BONSIEPE,1984,p.34). Entretanto adverte em seus respectivos livros que a experimentação sem guia acaba fracassando na maioria dos casos.

Para apresentar as fases do método de Gui Bonsiepe, foi elaborado um fluxograma (figura 3) organizando as etapas a serem seguidas que foram descritas durante o desenvolvimento do projeto.

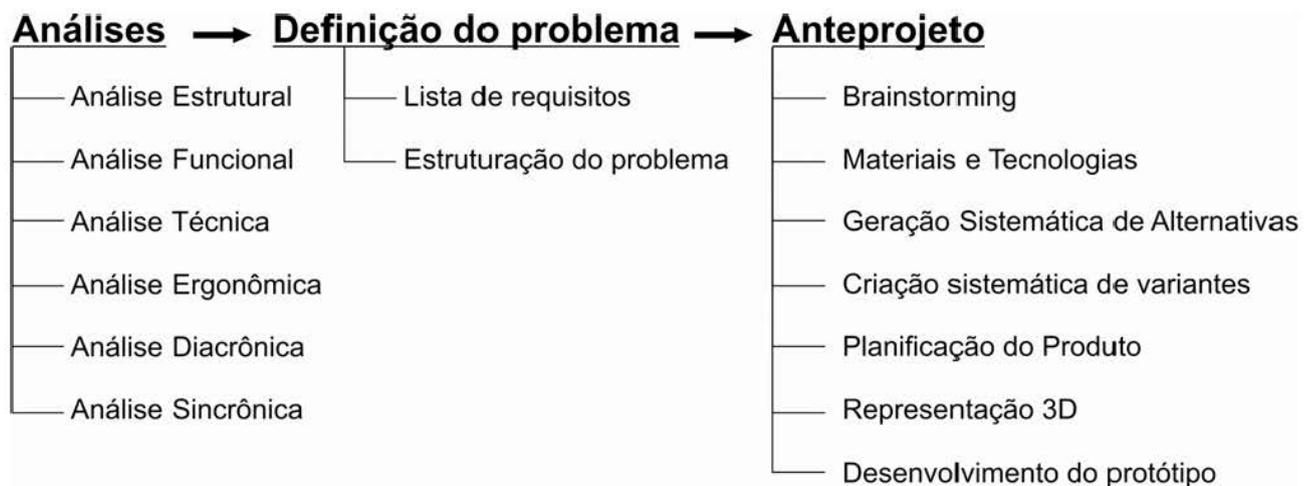


Figura 3: esquematização - Método

Fonte: Gui Bonsiepe, 1984

2.1.3 Método de Biônica proposto por Wilson Kindlein (2005)

A concepção do produto, quando submetido à metodologia Biônica, se torna prática e eficiente, uma vez que é possível replicar as informações de maneira consciente e técnica e torna o processo confiável. Para a realização deste estudo foi utilizado o método proposto por Wilson Kindlein constituído de oito etapas que serão apresentadas a seguir:

- 1) **Análise do meio ambiente:** identificação de uma necessidade, ou ineficiência aplicada em algum produto, ou que não foi satisfatoriamente cumprida. Essa etapa depende de um reconhecimento eficaz do problema proposto, e deve ser feita a partir de um profundo questionamento de seus aspectos. A preparação e investigação do problema é o ponto de partida no mapeamento das alternativas possíveis para a solução ou inovação de um projeto.
- 2) **Coleta de amostras:** é uma fase prática da pesquisa, que envolve procurar as amostras na natureza, e o pesquisador deve ter se preparado previamente com conhecimento do assunto. Para isso, deve estar munido dos equipamentos adequados à coleta de informações necessárias.

- 3) **Preparação da amostra:** deve ser realizada de acordo com o objetivo da pesquisa que é a obtenção da sua superfície. Para isso a superfície deve ser limpa e manuseada com cuidado para não danificar a amostra a ser analisada.
- 4) **Observação das amostras:** nesta etapa é interessante ressaltar que o sistema biológico em exame deve ser considerado como um protótipo a ser investigado (abstração). Ao examinar a amostra (sistema natural), os seguintes itens devem ser observados: componentes, partículas, células, organismos, componentes físicos e estrutura morfológica.
- 5) **Parametrização:** as imagens obtidas são transferidas para um computador e editadas a fim de simplificar a geometria deixando apenas o que for relevante.
- 6) **Analogia entre o sistema natural e o produto:** os aspectos funcionais, morfológicos e estruturais encontrado na natureza devem servir como um guia útil para o desenvolvimento de um projeto. Tendo as informações necessárias adquirida em etapas anteriores, há elementos suficientes para iniciar um estudo sobre a possibilidade de aplicação de uma analogia entre a amostra examinada e a idéia concebida.
- 7) **Aplicação do projeto:** ao investigar como adaptar as atividades relacionadas da análise funcional com os requisitos e necessidades do produto proposto, busca-se adequação à morfologia do projeto
- 8) **Elaboração de um fluxograma.**

Em todas as metodologias abordadas é possível observar que as etapas preliminares buscam o esclarecimento do problema e a formulação dos requisitos do projeto. Após são geradas alternativas e feitas avaliações para a escolha da(s) alternativa(s) que melhor respondem às questões do problema da pesquisa. A partir disso, são desenvolvidas as etapas de detalhamento, protótipos e execução de testes, para então concluir com a etapa final de prototipagem.

2.2 MINIVEÍCULOS

Nos grandes eventos automotivos como é o caso do Salões de Frankfurt, Detroit e Genebra, é possível constatar uma mudança dos paradigmas com uma forte tendência ao uso dos miniveículos. Se antes a Europa preferia os cupês esportivos e os sedans poderosos da indústria automobilística americana e alemã, hoje prefere carros cada vez mais compactos. Na onda da ecologia, os carros pequenos não necessitam de grandes motores e, por isso, poluem menos. São mais práticos, e dão melhores condições de estacionamento e mobilidade.

Para ser considerado "Mini", um veículo deve possuir algumas características desejáveis. Entre elas, o Peso Bruto Total (PBT) reduzido e suas dimensões gerais devem ter poucas regiões não aproveitadas do compartimento de carga ou do habitáculo do(s) passageiro(s). Suas medidas podem variar entre maior largura e menor comprimento, ou menor largura e maior comprimento, conforme a disposição dos passageiros que podem ficar lado a lado ou posicionados um na frente do outro, assim como nas motocicletas ilustrado na Figura 4 (MACEY; WARDLE, 2008).

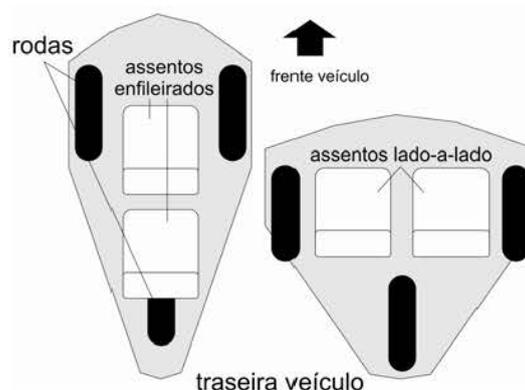


Figura 4: distribuição dos assentos

Fonte: autor

A disposição das rodas (figura5) e a supressão de alguns componentes desnecessários contribuem para a redução de suas medidas. A capacidade de

carga é dimensionada para um número reduzido de passageiros, com pequeno recipiente de bagagem, se houver. (MACEY; WARDLE, 2008).

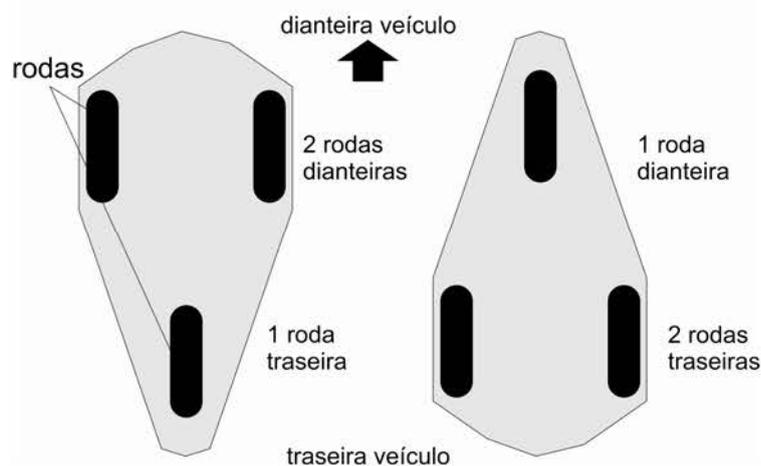


Figura 5: disposição das rodas

Fonte: autor

2.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

A legislação brasileira classifica os veículos conforme algumas características: tipo de propulsão (mecânica, humana ou animal); cilindrada em centímetro cúbica correspondente a capacidade volumétrica de deslocamento de combustível dentro do motor; potência elétrica; quantidade de rodas; capacidade de carga; e velocidade máxima. O miniveículo velomóvel, objeto deste estudo, pode ser classificado em duas categorias distintas, conforme legislação do Código de Trânsito Brasileiro: ciclomotor ou veículo automotor (DENATRAN, 2009).

O ciclomotor deve apresentar duas ou três rodas, motorização de no máximo 50cc ou 4kWh no caso dos ciclo-elétricos, velocidade máxima de 50km/h, e capacidade de carga máxima de 140kg. No Rio Grande do Sul, foi criada a Resolução 315 de 05/2009 do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN (DENATRAN, 2009), que estabelece o enquadramento dos veículos ciclo-elétricos aos ciclomotores e os respectivos equipamentos obrigatórios para condução nas vias públicas abertas à circulação.

Já os veículos automotores possuem motores acima de 50 cc e velocidade superior a 50 km/h, e servem normalmente para o transporte viário de pessoas ou mercadorias. Este termo compreende os ônibus elétricos, isto é, os veículos conectados a uma linha elétrica e que não circulam sobre trilhos.

2.4 ANÁLISE DIACRÔNICA

Os miniveículos não surgiram nos dias atuais, mas sim é possível encontrá-los em diferentes momentos históricos conforme pode se observar na linha do tempo da apresentada na figura 6.



Figura 6: análise Diacrônica

Fonte: autor

Dentre os modelos citados, alguns se destacam por terem características interessantes que podem ser aplicadas ao projeto do miniveículo em questão conforme descritas na figura 7.



Figura 7: lista de características

Fonte: autor

No período logo após a Segunda Guerra Mundial, a Europa estava em ruínas, devastada pelas guerras, diferentemente dos Estados Unidos que vivia uma era de ouro onde a economia e a indústria estavam em excelente fase. Com isso, a Europa estava com os recursos limitados e surgiram forças em reação a esta situação que acabaram favorecendo o desenvolvimento de produtos com maior eficiência e menor desperdício de energia e matéria prima. Nesse contexto, engenheiros da indústria aeronáutica usaram seus conhecimentos adquiridos anteriormente para solucionar problemas de mobilidade urbana em condições adversas. Assim nasceram os conhecidos Microcarros do período pós-guerra, que visavam à mobilidade da população. O objetivo era a redução dos materiais empregados, diminuição do consumo de combustível e comercialização com preços acessíveis à população (MICROCAR MUSEUM, 2012).

Esse movimento aconteceu entre 1945 e 1964, sendo o auge da sua produção e venda se deu até 1955. Com isso deixou um legado que está ressurgindo nos dias atuais, pois é possível observar a tendência de algumas das maiores montadoras oferecerem soluções alternativas para mobilidade urbana com miniveículos. É o caso da Renault, Mercedes, BMW, Audi, e todas as outras que estão atentas a esse nicho de mercado. Foram desenvolvidos muitos veículos com essas características de redução de tamanho, consumo e preço, porém alguns se tornaram ícones por terem sido sucesso de vendas ou por apresentarem as soluções mais avançadas. Dentre eles, é impossível deixar de citar o Isetta, que é um projeto italiano, fabricado

sob licença em outros países incluindo Espanha, Bélgica, França, Alemanha, Reino Unido e Brasil (fabricado pelas Indústrias de Máquinas Operatrizes Romi, cujo proprietário se chamava Américo Emílio Romi, ficando assim com o nome de Romi-Isetta). Tornou-se um dos mais influentes e bem sucedidos carros de utilização urbana de todos os tempos, com 161.728 unidades vendidas em todo mundo (MICROCAR MUSEUM, 2012).

O proprietário da empresa *Isotherm*, fabricante de refrigeradores da cidade de Milão, Sr. Renzo Rivolta, que já havia se tornado fabricante de Scooters e motocicletas, decidiu entrar no ramo de automóveis, criando assim a empresa Iso Automoveicoli-Spa. Em meados de 1952, apresentou um veículo de criação do seu engenheiro Ermenegildo Pretti. O Sr. Renzo nomeou o projeto de Isetta, ou seja, pequeno Isso, que para alguns, na época, era resultado de uma colisão entre um scooter, uma geladeira e um avião. Devido à sua forma de ovo e janelas em forma de bolha, tornou-se conhecido também como carro bolha, e tal denominação foi atribuída mais tarde a outros veículos similares. Uma característica interessante desse veículo que o diferencia dos demais, é a sua porta que abre na parte frontal, pois assim ele poderia estacionar de maneira ortogonal ao meio-fio, facilitando o acesso à calçada, como pode ser visto na Figura 8 (RÉPLICAS DE ISETTA, 2012).

O Romi-Isetta, que tinha um consumo de aproximadamente 26km/l de gasolina, poderia ser considerado o primeiro veículo de fabricação nacional, se não fosse a decisão do Grupo Executivo da Indústria Automobilística - GEIA, afirmar que apenas veículos que tinham no mínimo duas portas poderiam ser considerados como carros. Além disso, somente dava incentivo fiscal para veículos utilitários de quatro ou mais lugares, o que deixava a Romi-Isetta 60% mais caro, com valor semelhante ao de um WV Sedan. A ROMI parou de fabricá-lo em 1961 (RÉPLICAS DE ISETTA, 2012).



Figura 8: propaganda Romi-Isetta

Fonte: A Gazeta - S. Paulo, 1956

2.5 ANÁLISE SINCRÔNICA

Podemos avaliar o estado da arte dos miniveículos na atualidade sob mais de um aspecto. O primeiro trata dos veículos de competição que atingem melhores coeficientes de milhagem por consumo de combustível. Entre as competições, a Shell Eco-marathon tem destaque por ser a de maior abrangência entre instituições de ensino do mundo inteiro. No ano de 2011, a equipe da Universidade Laval em Quebec venceu a competição das Américas com um surpreendente alcance de 4103,68 km/l, sendo pelo terceiro ano consecutivo vencedora dessa etapa. Na categoria Urban Concept (figura 9), a equipe técnica da Universidade de Luisiana venceu atingindo um funcionamento aproximadamente 287km/l (SHELL, 2011).



Figura 9: veículos competição Shell Eco-marathon

Fonte: SHELL, 2011

O segundo aspecto aponta qual produto tem maior sucesso em vendas devido a sua aceitação no mercado. Nesse aspecto se destaca o Smart fortwo, que também se enquadra no segmento de carros japoneses “kei”, recebe os incentivos fiscais para carros pequenos de baixo consumo de energia. O Smart fortwo CDI com um consumo de 20 km/l continua sendo o carro mais comercializado dessa categoria no mundo, e é amplamente vendido nos Estados Unidos da América. Foi projetado com objetivo que fosse seguro, econômico e de fácil estacionamento. O curto comprimento do Smart Fortuo é possível devido ao motor de 660cc acomodado embaixo do assoalho traseiro, possibilitando o estacionamento perpendicular à calçada, sem que avance sobre a rua. Possui uma estrutura corporal do tipo “tridium”, que é o equivalente à célula de sobrevivência de um Fórmula 1” que ganhou cinco estrelas nos crash-testes realizados pelo rigoroso Instituto de Validação Veicular da Comunidade Européia apresentando nível de segurança ativa e passiva superior a de muitos carros grandes. Bürdek (2006) descreve o Smart fortwo que era muitas vezes comprado por usuários mais velhos para utilizarem como “terceiro veículo” de compras urbanas, e diz que mudou de perfil. Hoje vem sendo usado em “Carsharing” (aluguel de carro) ou com o Smart Roadster (desde 2003) procura-se atingir um grupo-alvo de jovens, esportivos, dinâmicos e com força de compra, e através dele comunicam de forma explícita que a vida lhes dá prazer. Por fim afirma que veículos mini como Smart Fortuo (Figura 10) que tem um preço de venda considerado elevado se comparado à veículos de porte semelhante, mostram de forma explícita que as decisões estratégicas de produtos são em grande parte, decisões orientadas pelo design, já que os efeitos do design estão em primeiro plano para o potencial usuário. As características técnicas são hoje em dia

entendidas como indiscutíveis e não são mais suficientes como elementos de diferenciação." (Bürdek, 2006, p. 364).



Figura 10: Smart Fortuo estacionado
Fonte: acervo do autor – Sevilla, 2012

2.6 TIPOS DE MINIVEÍCULOS

Entre os vários tipos de miniveículos, quatro deles serão abordados a seguir por serem os mais populares e utilizados ao redor do mundo. São eles: Kei Car, Microcarros, Veículos elétricos de vizinhança e os Velomóveis, este último objeto do presente estudo.

Existe no Japão uma categoria de veículos de porte pequeno que é chamada Kei Car ou K-car que recebem vantagens tributárias e securitárias. De acordo com as leis do Japão, os Kei cars devem possuir no máximo as seguintes especificações (MACEY e WARDLE, 2008): 3,4m de comprimento; 1,48 m de largura; motor de 660ml e potência de 64cv. Seus equivalentes na Europa são conhecidos como Microcarros, que são veículos cuja classificação tem objetivos específicos de dimensão e desempenho relativos ao menor tipo de carro de passageiros que pode trafegar em estradas. Os "microcarros" são frequentemente projetados para somente dois ocupantes, com mínima capacidade de carga, conforme mostram as Figuras 11 e 12. Um "package" com "powertrain" (grupo de componentes que geram a energia e os componentes de transmissão dela até as rodas) reduzidos e pneus pequenos também ajudam a minimizar o tamanho e o peso do veículo. (MACEY; WARDLE, 2008).



Figura 11: microcarro estacionado em vaga de motocicleta

Fonte: acervo do autor – Sevilla, 2012



Figura 12: microcarro no contexto do trânsito

Fonte: acervo do autor – Sevilla, 2012

Com relação aos veículos elétricos de vizinhança (Neighborhood Electric Vehicle - NEV), a legislação dos Estados Unidos da América permite que trafeguem em estradas públicas até 56km/h sem ter que passar por testes federais e crash testes. Isto ajuda a reduzir o peso, o custo em investimento, permitindo que os NEVs proliferem (MACEY; WARDLE, 2008). O E-Z-Go, apresentado na figura 13, mede 3,58m de comprimento por 1,23m de largura, com motor de 48Vcc e 2,5hp (1,9 kW). Pesa 550 kg e atinge a velocidade de 21 km/h \pm 0,8 km/h. A maioria das famílias que o possui tem outro veículo, e o E-Z-Go ajuda a compensar o custo e consumo de combustível de carros maiores (E-Z-GO, 2012).



Figura 13: E-Z-GO modelo de veículos elétricos da “vizinhança”

Fonte: acervo do autor - República Dominicana, 2011

Legislação e infraestruturas desempenham um importante papel no design de um veículo. Hoje muitas comunidades estão aceitando a utilização dos veículos elétricos da “vizinhança” (NEV), pois assim ajudam a melhorar a qualidade de vida dos habitantes por meio da redução de emissões, barulho e poluentes, e caminham na direção da sustentabilidade, como mostra a Figura 14 (MACEY; WARDLE, 2008).



Figura 14: veículos de três rodas elétricos para locação

Fonte acervo do autor – Barcelona, 2012

Existe um conceito de veículo que tem recebido cada vez mais reconhecimento por ter excelente eficiência energética. Trata-se do Velomóvel, que é considerado uma solução para o futuro dos transportes ecologicamente amigáveis, e tem aumentado a quantidade de adeptos usuários em todo mundo, como pode ser visto na Figura 15. O Velomóvel pode ter duas, três ou quatro rodas, mas normalmente são triciclos (trikes) onde o usuário permanece numa posição reclinada para trás, como se estivesse sentado em uma poltrona. Fica protegido no habitáculo através de uma carenagem, e a mesma possui diferentes funções: melhoria da aerodinâmica, proteção contra chuva, proteção a impactos, armazenamento de

objetos para transporte, possibilidade de instalação da sinalização. Normalmente é projetado para o transporte de apenas uma pessoa, porém em alguns casos é possível o transporte de mais um passageiro. Possui um chassi independente da carenagem, e de fácil separação (VELOMOBILEMEDIA, 2012).



Figura 15: velomóvel em viagem de férias no norte do círculo polar

Fonte: VELOMOBILEMEDIA, 2012

Os velomóveis são produzidos principalmente na Dinamarca, Holanda, Bélgica, Alemanha, Estados Unidos da América e Austrália, e a produção é em pequena escala, pois praticamente todos são construídos à mão. Também existem modelos de fabricação caseira, como é o caso de alguns exemplos ocorridos no Brasil, no entanto, não existe nenhuma fábrica desse gênero de veículos (VELOMOBILEMEDIA, 2012).

Nesse contexto, observa-se um nicho de mercado com potencial a ser desenvolvido que contempla as características desejadas para o melhoramento das condições de trânsito. São veículos com comprimento aproximado a de uma moto, porém com a vantagem da proteção de um automóvel. O fato de ser um veículo com a opção de movimentação à propulsão humana recebe a sigla HPV (Human Power Vehicle), e esse fator predispõe à melhoria da qualidade de vida, pois seu uso pode trazer benefícios advindos do exercício físico, redução da poluição, melhor aproveitamento dos espaços públicos e melhoria da segurança aos pedestres, que correm menos riscos em casos de acidentes.

O velomóvel tem sido utilizado para diversos fins, e está entre eles o uso diário em substituição ao carro em distâncias curtas de 10 a 30km, como é o caso de deslocamentos para o trabalho, idas a supermercados e a instituições de ensino, entre outros. No entanto, pode ser usado em passeios e provas de longa distância,

como a Maratona de Eficiência Energética (2012) onde competidores avaliam o desempenho dos veículos por milhagens alcançadas com o mínimo consumo de combustível a combustão, ou autonomia máxima que uma bateria de moto pode alcançar nos veículos com motorização elétrica. Também participam das provas do Audax, que é o nome dado no Brasil a um evento ciclístico não competitivo, conhecido internacionalmente pelo nome de "Randonnée", que visa a interação de pessoas com a natureza em percursos de longas distâncias sem o uso de motorização e com o tempo controlado, como mostra a Figura 16. Para tanto, os organizadores da prova exigem o uso de equipamentos de segurança a serem aplicados no veículo e no participante como: capacete, luzes dianteira e traseira, pilhas reservas e sinalizadores reflexivos. Tais percursos longos são favorecidos pela posição de pilotagem reclinada dos velomóveis, que permite um melhor conforto em comparação às bicicletas convencionais (SPEZI, 2013).



Figura 16: velomóveis praticando ecoturismo

Fonte: VELOMOBILEMEDIA, 2012

Sua propulsão pode ser através da força humana, com uso de pedais ou com motores. No entanto, o seu melhor aproveitamento em termos de eficiência energética e conforto ao usuário ocorrem quando a propulsão humana é aliada à motorização de auxílio. Tal situação ocorre principalmente em ocasiões de subida que são facilitadas através da força do motor. De acordo com a Figura 17, o velomóvel pode ser classificado como um veículo que privilegia a economia e o uso urbano em estradas pavimentadas conforme o sentido para onde aponta a flecha.



Figura 17: posicionamento mercadológico do Velomóvel

Fonte: autor

2.7 DEFINIÇÕES DIMENSIONAIS

Esse estudo busca melhorar a eficiência que é gerada pelo somatório de escolhas em sua concepção, objetivando o mínimo de consumo de energia no ciclo de vida do produto. Assim, são realizadas proposições aplicadas ao desenvolvimento da carenagem para que ocorram melhorias no veículo em questão, com a redução do seu peso e de suas medidas. Dessa forma, é possível enumerá-las de acordo com a lista de parâmetros sugerida por Gaviraghi (2005), adequando-os às características que serão estudadas para a obtenção de um miniveículo que possa ser classificado como ciclomotor, de acordo com a legislação brasileira vigente (DENATRAN, 2007).

- 1) **Largura máxima:** veículos estreitos têm maior agilidade no trânsito devido à facilidade de acesso em determinados espaços que somente veículos estreitos conseguem ultrapassar. Por outro lado, veículos curtos são mais fáceis de estacionar, pois encontram vagas que carros maiores não conseguem ocupar. A largura é uma característica importante, e pode ser definida a partir de dois fatores que influenciam num bom aproveitamento de espaço, com o mínimo de volume desnecessário possível. O primeiro trata da largura interna onde é importante preservar o espaço sem prejuízo do conforto do usuário, ficando assim com medidas a partir de 80 cm. O segundo fator refere-se à largura externa, onde se deseja que o

miniveículo consiga ocupar o mínimo necessário para proteção dos usuários e redução do consumo de materiais.

- 2) **Altura máxima:** a partir do estudo ergonômico, é possível definir a altura do veículo que deva possibilitar o uso de um condutor com até 1,95m e passageiro até 1,75m de altura e consigam se acomodar na posição reclinada para trás. Considerando que o condutor e o passageiro ficarão com as costas inclinadas com ângulo de 120° em relação ao solo e uma distância entre a cabeça dos passageiros até o teto do veículo com no mínimo 8 cm o veículo terá altura entre 1,30m e 1,60m, já somando à essa medida a altura do assoalho em relação ao solo, a espessura do teto e a espessura do chassi.
- 3) **Comprimento Total:** A medida do comprimento é definida a partir da soma do espaço ocupado pelos usuários, considerando-se a posição reclinada e o encaixe do assento do passageiro sobre a roda traseira. Essa disposição aumenta o comprimento do miniveículos em relação à largura, porém é desejável que atenda essas especificações para o transporte de duas pessoas. Assim, o comprimento deve ficar no intervalo entre 2m e 2,40m.
- 4) **Espaço útil para carroceria:** o veículo destina-se para o uso diário, com a possibilidade de transporte de um passageiro ou carregamento de cargas leves. Dessa forma, prevê um espaço na parte posterior do banco do condutor que possa receber uma pessoa de porte mediano, de no máximo 1,75 m de altura.
- 5) **Peso Bruto Total:** corresponde ao peso efetivo do veículo e de sua carga, incluído o peso dos passageiros. O veículo em questão deve ter o mínimo Peso Bruto Total, pois visa o máximo de rendimento com o mínimo de consumo de combustível possível. Para isso, deseja-se que o peso bruto total seja o dobro de sua capacidade máxima de carga (140kg), para que tenha uma relação de um para um, o que atinge 280 kg.
- 6) **Distância entre-eixos:** o fator que determina a distância entre eixos é a possibilidade de carregamento de passageiro na parte superior do banco do condutor. Dessa maneira, faz-se necessário o prolongamento do chassi para que mantenha uma boa estabilidade e resistência a cargas, e assim a medida entre eixos dianteiro e traseiro fica em torno de 1 a 1,5m.

- 7) **Peso Chassi:** chassi projetado para que tenha boa resistência e leveza. Produzido em diferentes matérias, entre eles o aço, alumínio e fibra de carbono. Estima-se que o chassi pese em torno de 50 kg.
- 8) **Largura Chassi:** a largura do chassi é determinada pela largura máxima do veículo, menos a largura das rodas, pois as mesmas ficam alinhadas por dentro dos para-lamas para obedecer à legislação de trânsito, e assim o chassi se limita a parte interna delas.
- 9) **Peso Vazio (tara):** entende-se pelo peso do veículo sem passageiros ou carga, mas com a totalidade de seu combustível e as ferramentas que o veículo carrega normalmente; o peso do veículo sem carregamento de passageiros, condutor, nem carga, deve ficar em 140kg ou menos, para que tenha a capacidade de carga igual ao seu peso físico.
- 10) **Altura Plataforma:** o veículo destina-se ao uso urbano, e dessa maneira ele tem melhor desempenho se for baixo em relação ao solo. Estima-se que tenha em torno de 12 cm na parte mais inferior do assoalho. Normalmente os veículos possuem um afastamento médio de 20 cm do chão, podendo variar conforme o tipo de estrada a qual se destina percorrer. Os veículos altos, comparados aos veículos baixos, tem melhor desempenho em estradas com terrenos acidentados. Já em vias pavimentadas os veículos baixos possuem melhor desempenho em curvas por possuírem seu centro de massa mais baixo, o que contribui para o melhor controle do veículo. O foco deste estudo é desenvolver um miniveículo pequeno com eficiência do aproveitamento da energia ao máximo, e utilização em perímetro urbano. Dessa forma, ele não será um veículo "off Road" (fora de estrada), e sim "on Road", e sua altura pode ficar o mais próxima possível do solo para dificultar o capotamento.
- 11) **Capacidade de Carga:** sua capacidade de carga deve ser de no máximo 140 kg para que o miniveículo possa ser considerado veículo ciclomotor perante a legislação de trânsito brasileira.
- 12) **Transporte de Carga:** seu objetivo não é o de transporte de cargas pesadas, mas sim apenas objetos leves quando se fizer necessário. Dessa maneira estima-se um volume de carga de aproximadamente 0,125 m³, ou seja, dimensões de aproximadamente 0,50m x 0,50m x 0,50m.

- 13) Transporte de Passageiros: o veículo disponibilizará assento para um passageiro apenas, e sua estatura mediana deve ser no máximo 1,75m de altura.
- 14) Cabine: simples, feita em material impermeável visando o não contato com a chuva, a proteção mecânica a impactos, e que também sirva de melhoria aerodinâmica.
- 15) Bitola Traseira: o veículo do estudo é um velomóvel triciclo do tipo “tadpole” (girino por ser maior na frente), ou seja, duas rodas na dianteira e uma roda na traseira. Dessa forma a bitola traseira nada mais é do que a largura do pneu escolhido.
- 16) Bitola Dianteira: a distância entre o centro das rodas dianteiras vai trabalhar em conjunto com a largura máxima desejada, e com a mínima para que, ao esterçar as rodas, não tenham contato com as pernas do condutor que estarão dispostas entre as rodas dianteiras. Dessa maneira, estima-se que a distância ideal fique entre 0,9m à 1m de largura.
- 17) Quantidade e disposição das rodas: a quantidade de rodas pode influenciar no formato da carenagem. Os velomóveis podem ser do tipo “delta” onde há uma roda na frente e duas atrás, ou “tadpole”, que possui duas rodas na dianteira e uma roda na traseira. Essa distribuição determina o formato da carenagem que acompanha o chassi da mesma maneira. Com objetivo de diminuir ao máximo o comprimento do miniveículo, a configuração de duas rodas na dianteira possibilita que as pernas do condutor fiquem entre as rodas, o que proporciona um posicionamento mais à frente, reduzindo seu comprimento. A roda traseira fica disposta abaixo do assento do passageiro, que é uma região onde a anatomia do corpo solicita uma base mais elevada. A configuração de duas rodas na dianteira e uma roda na traseira conduz naturalmente à forma análoga ao *Límulus*, ser vivo que serviu de referência na análise Biônica.

2.8 TÉCNICAS PARA MELHORAMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2.8.1 Ecodesign

A etimologia da palavra ecologia traz a junção de *oekos*, que significa casa, e *logos*, que significa ciência. A ecologia pode ser definida como a ciência da relação entre organismos e seus ambientes; é o estudo do efeito do ambiente sobre a história de vida dos organismos (Universidade Federal de Campina Grande, 2011).

O desenvolvimento sustentável busca satisfazer as necessidades do presente, sem comprometer o futuro e buscando preservar os recursos naturais. O desenvolvimento sustentável sugere a necessidade de mudança de paradigmas e também dos padrões de consumo atuais, da substituição da quantidade pela qualidade, da redução do uso de matérias primas e produtos e do aumento da reutilização e da reciclagem. Em outras palavras, desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento economicamente viável, ambientalmente adequado e socialmente justo para toda a humanidade (TORRES, 2003).

De acordo com Manzini e Velozzi (2008), existem dois caminhos a seguir pelas políticas das empresas, para compatibilizar competitividade e sustentabilidade: reduzir os custos a partir da eficiência operacional voltada para a sustentabilidade, e/ou oferecer um produto diferenciado com maior valor agregado, incluindo a sustentabilidade no seu mix de produtos e serviços.

Atualmente tem havido mais interesse pelo cuidado e preservação ambiental por parte do setor empresarial através de ações como: 1) a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança; 2) a logística reversa, instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada; 3) a

ecoeficiência, compatibilizando o fornecimento de produtos a preços competitivos de bens e serviços qualificados, que satisfaçam as necessidades humanas, tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental, e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta (MANZINI; VELOZZI, 2008).

Essas novas práticas levaram a novos conceitos de sustentabilidade, que são conhecidos como os princípios dos 6 Rs: reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar, redesenhar, remanufaturar e são descritos abaixo (JOSHI et al, 2006):

Reduzir: redução do uso de matéria prima nas fases iniciais de produção, da energia necessária para produção, de materiais de consumo e de lixo durante a fase de uso. Ele foca nos 3 estágios iniciais do ciclo de vida do produto.

Reutilizar: refere-se ao reuso de produtos ou componentes depois do primeiro ciclo de vida de um produto, para servirem de material a novos ciclos de vidas de outros produtos, e assim reduzindo os ciclos iniciais desses novos produtos.

Reciclar: processo de converter o material que seria considerado lixo em novas matérias-prima para reprocessamento.

Recuperar: processo de coletar produtos no final do seu estágio de uso, desmontando, selecionando e limpando para sua utilização em ciclos de vida subsequentes.

Redesenhar: é simplificar os processos de montagem e pós-uso do produto através da aplicação de técnicas como design para montagem (Design For Assembly - DFA) e design para desmontagem (Design For Disassembly - DFD), tornando o produto mais sustentável.

Remanufaturar: reprocessamento de produtos já usados para restauração do seu estado original, assim orientado para Manutenção dos existentes (JAYAL et al, 2010).

Com base nisto, a indústria automobilística está acompanhando tais evoluções sustentáveis com o desenvolvimento de carros com sistemas ecológicos, visto que os veículos convencionais consomem uma grande quantidade de energia no seu ciclo de vida (MEDINA; GOMES, 2002). O automóvel destaca-se pelo grande consumo de materiais em geral e queima de combustível fóssil. É também problema urbano na fase de descarte ao fim de sua vida útil. A indústria automobilística vem substituindo materiais tradicionais por materiais especialmente desenvolvidos visando à economia de combustível, redução das emissões e reciclabilidade.

Desmontar, separar, despoluir e recuperar as partes do automóvel para reinserir seus materiais na cadeia produtiva é uma etapa de extrema importância, visto que sem isso, são um problema complexo, pior que sua produção. Isso porque o automóvel é o produto industrializado que mais utiliza materiais em diversidade e quantidade. Separá-los, classificá-los e buscar diferentes soluções de destino final dessa sucata é um desafio considerável (MEDINA; GOMES, 2002).

2.8.2 Reciclagem e a estratégia ambiental das montadoras

Os chamados carros verdes são conhecidos assim por terem todo seu ciclo de produção e de vida de produto planejado e gerenciado de forma a evitar ao máximo o impacto ambiental. Uma estratégia bastante utilizada é a diversificação aparente, que utiliza as mesmas peças e sistemas em veículos diferentes através de plataformas integradas ou consorciadas, o que facilita o intercâmbio de peças entre diferentes automóveis. Assim também se fabricam menor quantidade de moldes, o que gera um menor custo de investimento e gera ganho em escala (MEDINA; GOMES, 2002).

Tanto na Europa como no Brasil, a cadeia da reciclagem ainda está sendo construída e viabilizada técnica e economicamente. É necessário que a indústria adote políticas e sistemas de gestão ambiental desenvolvendo processos mais limpos, identificando os produtos de forma a facilitar a futura reciclagem. A reciclabilidade de um produto só acontece quando existe uma cadeia de recicladores disposta a receber os resíduos e reaproveitá-los, ou seja, quando a reciclagem é

industrial e economicamente viável. Para isso, é importante que se torne vantajosa para despertar o interesse financeiro das indústrias. As previsões apontam que para 2015 a meta é que 95% dos componentes dos veículos sejam recicláveis. No Brasil, foi proposta pela ANFAVEA a criação de Centros de Reciclagem específica para veículos (MEDINA; GOMES, 2002), e o processo se divide em duas fases:

1ª fase – Despoluição veicular - nessa fase são removidos todos os resíduos líquidos que possam restar no veículo. São armazenados em recipientes específicos para cada categoria e classificados como recicláveis e não recicláveis. Os recicláveis que são resto de combustível e óleo de motor são encaminhados para intermediários que cuidam do seu tratamento. O restante como ácido de bateria, fluidos de embreagem, freio e diferencial não são reutilizados devem ser descartados de maneira controlada, para não contaminarem o lençol freático nem a rede de esgoto pluvial. Ainda nessa fase, são realizados desmontes de peças que são separadas em reutilizáveis, para posterior reuso em outros veículos e as que não podem mais ser reutilizadas, porém têm potencial para serem recicladas na fase seguinte.

2ª fase – Reciclagem de Materiais - são separados os tecidos, espumas, vidros, plásticos, borrachas e partes metálicas, para serem enviados para uma máquina de tratamento de sucata, picotadeira, prensa e tesoura para a redução de tamanho, e posteriormente passar por um processo de separação. A partir daí são destinados para usinas de reciclagem. Esse modelo foi inspirado no conceito de “Car Recycling System”, que é semelhante a uma linha de produção, embora funcione de maneira inversa, visto que o veículo é desmontado em diversas etapas passando por uma esteira. É um sistema de produção contínua em larga escala, amplamente adotado pelas montadoras européias que procuram ligar os fornecedores de sucata aos centros de reciclagem (MEDINA; GOMES, 2002).

Nessa fase as partes mais aproveitadas para reciclagem são os componentes metálicos. O aço das carrocerias e chassis é o produto mais reciclado do mundo e totaliza 40% do aço produzido a partir de materiais reprocessados. Isso ocorre devido ao domínio tecnológico dos processos e, principalmente, por receberem o suporte de grandes siderúrgicas como é o caso da Gerdau, CSN e outras.

O Brasil acaba importando matéria prima pois ainda não é autossuficiente de sucata de aço, visto que grande parte da produção de sucata produzida pelo Brasil encontra-se no exterior. Uma das empresas que mais recicla veículos no Brasil é a Belgo-Mineira que com cerca de 300 veículos por dia em 2011, e dessa forma já possui contratos de operações com grandes montadoras (MEDINA; GOMES, 2002)

Infelizmente, a reciclagem do plástico não acontece da mesma maneira que nos metais, visto que os automóveis utilizam cerca de quarenta tipos diferentes de plástico e cada um pode apresentar uma composição diferente, com variações de aditivos e corante. Isso torna econômica e fisicamente inviável a reciclagem, pois depois de misturados e processados eles não se desagregam na maioria das vezes, o que acarreta em uma perda nas propriedades a qual os polímeros se destinam. A Tabela 1 apresenta os tipos de materiais mais utilizados na indústria automotiva, conforme Hemais (2003) e Nóbrega, Fritz e Souza (2004).

Tabela 1 - Tipos de materiais mais utilizados na indústria automotiva

Fonte: Hemais, 2003

Poliméricos	<p>Poliétileno de alta densidade – HDPE Polipropileno e suas composições - PP Poli(óxido de metileno) e seus copolímeros – POM Polímeros fluorados Politetrafluoroetileno e suas composições – PTFE Poli(tereftalato de butileno) de alto impacto Polímeros de líquidocristalinos – LCP Poli(sulfeto de fenileno) – PPS Policarbonato – PC Poliuretano – PU Poliamida – PA Poli(metacrilato de metila) – PMMA Copoli (estireno-butadieno-acrilonitrila) – ABS Poli(estireno-acrilonitrila) – SAN Poli (cloro de vinila) – PVC Poli(óxido de metileno)/ poliamida - Noryl GTX Poli(tereftalato de butileno) / Policarbonato – Xenoy Poli(tereftalato de etileno) – PET</p>
Elastícos	<p>Silicones Fluorosilicone líquido Borracha natural</p>
Metais	<p>Aço Alumínio Cobre Zinco</p>
Compósitos	<p>Fibra de coco Reforço kevlar Fibra de carbono Fibra de vidro</p>
Cerâmicos	<p>Vidro Zircônia Nitreto de silício Silicato de lítio</p>

O (design for recycling - DFR) surge como um forte movimento para contribuir com essa condição a favor da sustentabilidade, com projetos de automóveis mais recicláveis. A simples identificação da composição de cada componente já facilita enormemente a separação (MEDINA; GOMES, 2002).

2.8.3 Elementos de junção

Uma fase importante no processo de reciclagem é a separação dos componentes. Isso porque os mesmos são produzidos na maioria das vezes com diferentes materiais, pois necessitam propriedades distintas dentro de cada aplicação. Essa separação normalmente é realizada em centros de triagem que é o lugar para onde se destina o lixo seco descartado na coleta seletiva. Nesses locais, observa-se grande quantidade de equipamentos que deixam de ser reciclados, devido ao tempo necessário para separação e a ausência de ferramentas específicas. Conclui-se que produtos como liquidificadores, batedeiras, teclados, videocassetes e outros com o mesmo problema de dificuldade de separação, tornam-se menos atrativos financeiramente para o reciclador desses centros e acabam sendo redirecionados aos aterros.

Uma boa prática durante o desenvolvimento de projeto de um produto é escolher sistemas de junção que proporcionem o menor trabalho para separação dos componentes, de maneira simplificada, possibilitando assim, a sua reutilização e/ou reciclagem. Para a junção entre os diversos componentes dos produtos, existem diferentes maneiras e técnicas a serem utilizadas. Conforme a aplicação sugere-se diferentes materiais e sistemas para que atendam aos esforços solicitados.

Kindlein et al (2002) realizou um estudo onde apresentou em forma de Tesouro os princípios de junção a fim de auxiliar os projetistas na escolha das técnicas de união e desunião das partes de um produto. Na Tabela 2 é possível visualizar de maneira clara as características de cada tipo de junção, para com isso, evitar a troca de termos de conceitos semelhantes. Dessa forma, o estudo por ele realizado contribui com o desenvolvimento de produtos que visam à diminuição de

custos de fabricação e favorecem processos de reciclagem que colaboram com a sustentabilidade do meio-ambiente.

Tabela 2 – Princípios de Junção – Proposição LDSM - Adaptado de Kindlein et al, 2002

Termo Específico	Característica	Exemplo de Aplicação
Ação Magnética	fixar por meio da atração magnética (Existem os ímãs naturais e os induzidos)	Portas de Geladeira
Adesão	processo de colagem	borrachas de portas, carpete
Amarração	unidos através de fios ou fitas que são enrolados	tennis, lona caminhão
Atrito	atrito entre duas superfícies	atrito dos pneus com solo no caso de frenagem
Deformação	deformado plasticamente para provocar a fixação das partes	conector ligado a um fio / carga caneta esferográfica
Engate	acoplamento de uma peça em outra	fixação para rebocar um trailer
Fusão	solidificação de um ou mais materiais de maneira permanente	soldagem
Interferência	diferenças de dimensões nas áreas de junção	flexa na tomada
Memória	realiza por meio da pressão de material que tende a voltar a sua forma original	clipes de folhas,
Preenchimento	ocupação dos espaços ao redor do produto	marcos de portas
Rosqueamento	fixar as partes através de espiral	rodas de carros
Sucção	retirada do ar existente entre as partes gerando vácuo	fixação de componentes em vidro
Travamento	bloqueio do movimento em uma ou mais direções	eixo que transmite torque a outra peça através de uma chaveta

Destaca-se então uma excelente aplicação ao desenvolvimento de projetos para indústria automobilística, visto que os princípios de junção podem trabalhar de forma

inter-relacionada e assim alcançam seus objetivos de maneira mais eficiente. Esse princípio pode ser chamado de princípio mestre, que ao se desfazer, torna simples a desmontagem. Para tanto, pode-se utilizar uma combinação de diferentes formas de junção que propiciam a diminuição dos custos ao mesmo tempo em que se amplia a capacidade de produção. Esses conceitos são conhecidos como design para montagem (Design For Assembly - DFA) e design para desmontagem (Design For Disassembly - DFD) que, aplicados aos produtos, favorecem a condição aos princípios da ecologia: reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar, redesenhar, remanufaturar (KINDLEIN et al, 2002).

2.8.4 Aerodinâmica

A aerodinâmica é o ramo da dinâmica que estuda a relação do movimento do ar e de outros gases com as forças sobre um objeto em movimento através do ar, ou com um objeto que esteja parado sofrendo a ação de um escoamento de ar. O ar é uma mistura de gases composta principalmente de nitrogênio e oxigênio. Ao escoamento que ocorre sobre corpos imersos em um fluido sem fronteiras é dado o nome de escoamento, e divide-se no ponto de estagnação na parte frontal do corpo. Ao ter contato com a superfície do corpo, o fluido adquire uma velocidade conforme a condição de não-escorregamento.

Dentre os fatores que contribuem para o melhoramento do desempenho de um veículo, considerando-se a menor perda de energia mecânica (cinética + potencial), a forma aerodinâmica influencia em grande parte nas forças que agem contra o movimento. Ela pode contribuir de maneira favorável com o consumo, visto que a partir dela é possível diminuir força de arrasto que age de maneira contrária ao sentido do movimento do veículo. A força de arraste é, portanto, causada pela resistência aerodinâmica e pela resistência ao rolamento (F_r). No design da carenagem é possível interferir com modificações em sua geometria para que diminua o arraste aerodinâmico a níveis cada vez menores, assim favorecendo o movimento (FOX; MCDONALD, 1992).

2.8.4.1 Modelos e simulações virtuais

Após a modelagem dessas modificações geométricas sugeridas, é possível realizar simulações da carenagem do veículo em softwares de análise computacional de Fluidos Dinâmicos que calculam e representam de maneira gráfica a capacidade e eficiência aerodinâmica do corpo em questão. Para solucionar os problemas de cálculo de escoamento se aplicam modelos matemáticos com objetivo de simular a situação real. Projetos desenvolvidos a partir de conhecimentos empíricos e sem análises anteriores (sejam laboratoriais ou simulações computacionais), acabam encarecendo os custos de implementação, e muitas vezes com desempenhos inadequados (FOX; MCDONALD, 1992).

2.8.4.2 Conceito de camada-limite

A Camada-limite é formada pelo escoamento do ar tanto na superfície superior quanto na parte inferior da superfície do corpo. Inicialmente ao aumentar-se a velocidade, o escoamento da camada-limite é laminar, e passa para escoamento turbulento a alguma distância do ponto de estagnação. Dependendo das condições da corrente livre, rugosidade da superfície e gradiente de pressão, esse ponto pode ser retardado ou antecipado como pode ser visto na Figura 18 (FOX; MCDONALD, 1992).

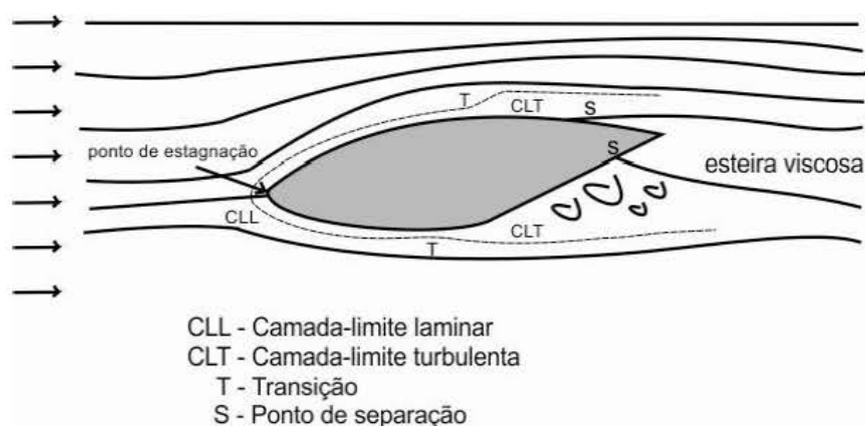


Figura 18: camada-limite (linha tracejada)

Fonte: adaptada de Fox e Mcdonald, 1992

Ludwig Prandtl, em 1904 descreveu a camada-limite que foi introduzida no estudo da mecânica dos fluidos. É considerada como a distância entre a superfície até o ponto onde a velocidade situa-se dentro de 1% da velocidade da corrente livre. Apenas na fina região junto à superfície o efeito de viscosidade é importante. A camada limite acaba retardando o escoamento, pois sem uma superfície sólida, a vazão seria superior àquela que passaria pela região com interferência da passagem do ar. Na região fora da camada-limite, o efeito da viscosidade é desprezível, e o fluido pode ser tratado como não viscoso (FOX; MCDONALD, 1992).

A fim de prever a tensão de cisalhamento da camada-limite sobre a superfície, resolvendo as equações numericamente, os engenheiros desenvolveram métodos de cálculos para solucionar o escoamento turbulento. O aumento da capacidade de processamento dos computadores tem contribuído para tornar possíveis cálculos mais complexos possibilitando prever o local da separação da camada-limite causada pelo gradiente de pressão adverso, a fim de computar a sustentação e o arrasto de maneira virtual para complementar testes laboratoriais (FOX; MCDONALD, 1992).

2.8.4.3 Resistência aerodinâmica

Três fontes distintas promovem a resistência aerodinâmica pelo deslocamento de ar que percorre a superfície de um veículo (NICOLAZZI; ROSA, 2001):

- Resistência de Forma ou Pressão: ocorre devido à geometria do corpo que produz um turbilhamento na sua parte posterior. Representa o arrasto gerado devido ao desbalanceamento causado pela separação do escoamento, onde ocorre a chamada deflexão (desvio do ar pelo obstáculo) e está relacionado com a área na qual o ar colide de frente. Para se obter um menor arrasto da forma, a frente do veículo deve ser arredondada ou ter o efeito de flechas, evitando superfícies retas perpendiculares ao deslocamento, originando assim uma resistência de pressão menor. Essa pressão aumenta juntamente com a velocidade.

- **Resistência de atrito:** depende da área de contato causando perdas por atrito do ar com a superfície externa do corpo. Nenhuma superfície é perfeitamente lisa. Este tipo de arrasto está relacionado com as tensões de cisalhamento atuantes e as características da superfície da carenagem, sendo ela lisa ou áspera. Quanto mais lisa for, o ar se moverá de forma laminar, porém se áspera, ocorrerá um fluxo de ar turbilhonado aumentando o arrasto. O atrito superficial pode ser reduzido através de polimento da superfície, porém é o tipo de arrasto parasita mais difícil de ser reduzido.

- **Perdas por correntes de ar:** o ar perde parte de sua velocidade ao entrar no veículo para refrigeração do motor e ventilação, e deve ser acelerado ao sair, consumindo potência do veículo. As perdas por efeito de circulação do ar dentro do veículo, seja no motor ou no habitáculo, contribuem com 1% a 10% da resistência total, dependendo do veículo.

A correlação entre a resistência à forma e resistência ao atrito da superfície para diferentes tipos de veículo é demonstrado abaixo. O gráfico da Figura 19 mostra que o arrasto de pressão é o principal causador de arrasto na maioria dos casos, o que pode ser reduzido significativamente com acréscimo de carenagens.

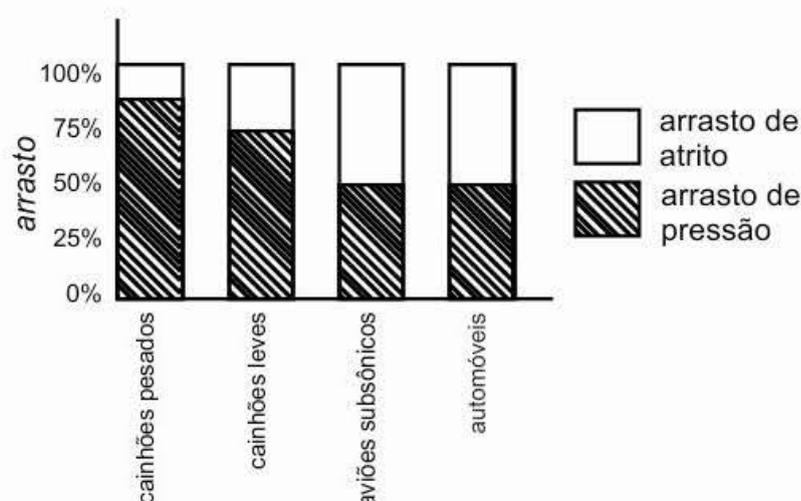


Figura 19: correlação entre arrasto de atrito e arrasto de pressão

Fonte: adaptada do site V-FLAP, 2010

A Força de Arrasto atua paralelamente à direção do movimento causada pela interação entre o ar atmosférico e a superfície externa do veículo, que induz uma

força contrária ao sentido do movimento do veículo. A zona de turbulência formada na parte traseira do corpo pelo deslocamento da camada-limite é denominada de *esteira* (FOX; MCDONALD, 1992).

2.8.4.4 Descolamento da camada-limite e turbulência

O descolamento da camada-limite está intimamente ligado à geometria da carenagem do veículo que atravessa um fluido. Cantos vivos produzem uma variação brusca de seção, e desta forma, podem antecipar a separação da camada limite. Quanto mais rapidamente reduzir-se a seção do corpo, maior a pressão adversa, dando maior turbulência na esteira. Da mesma maneira que o escoamento em cujo corpo tem sua seção diminuída suavemente, o fluxo permanecerá em contato até quase o final da superfície (FOX; MCDONALD, 1992).

A dianteira é uma das principais zonas de pressão aerodinâmica e tem grande importância devido à posição normal ao sentido da corrente de ar. É onde se encontra o ponto de estagnação que separa o fluxo de ar superior e inferior, o que exerce grande pressão contrária ao movimento do veículo. Para redução do seu efeito é importante a diminuição da sua área, o que favorece uma maior penetração aerodinâmica. Outra região importante é a do pára-brisa, que sofre grande pressão, mas não total quando o mesmo possui ângulo diferente de 90° em relação ao solo. Também ocorre força de pressão gerada pelos espelhos, antenas, calhas de chuva, limpadores de pára-brisa, maçanetas e outras saliências que possam existir. Por vezes, podem gerar o descolamento da camada-limite laminar de maneira precoce, se não forem devidamente projetados para diminuição dos seus efeitos (V-FLAP, 2010).

2.8.4.5 Ventos laterais

O vento raramente atinge o veículo apenas de frente, e por isso, é importante considerar a ação do vento lateralmente. O vento lateral toca a superfície do veículo em um dos lados o que gera uma resistência de atrito, que pouco influencia no desempenho final. No entanto, no outro lado pode ocorrer turbulência, o que resultará em resistência de forma e assim aumentar a força de arraste

consideravelmente. Dessa maneira, se o veículo possuir um perfil lateral que favoreça a penetração e o descolamento da passagem de ar de maneira suave em ambos os lados, irão reduzir o prejuízo dos ventos laterais. É importante analisar esse tipo de ocorrência (V-FLAP, 2010).

2.8.4.6 Forma de gota – carenamento

Os detalhes dos contornos dianteiros são importantes nos automóveis. Linhas suaves, uma frente baixa, raios da coluna, moldura do pára-brisa suavizados, e o escoamento controlado por acessórios promovem uma diminuição no arrasto parasita e de interferências. Considerando CD como sendo unidade do coeficiente de arrasto, foram obtidas reduções de $0,55CD$ para $0,3CD$ ou menos nos automóveis recentes em relação aos veículos de gerações anteriores. Os progressos nos métodos computacionais têm levado a formas com obtenção de CD s abaixo de $0,2CD$, em veículos com condição de circulação em estradas (FOX; MCDONALD, 1992).

Para redução do gradiente de pressão adverso que ocorre atrás do ponto de espessura máxima de um corpo, é possível estender a região de escoamento ou eliminá-la através do carenamento, dando-lhe formas fluidodinâmicas. Isso retarda a separação da camada-limite. Entretanto, essa adição de corpo posterior aumenta a área superficial da carenagem, o que causa um aumento do atrito superficial. Dessa forma, o que se busca é encontrar o ponto de equilíbrio entre a menor força de atrito superficial, e a máxima diminuição do turbilhamento posterior ao final do corpo (FOX; MCDONALD, 1992), como mostra a Figura 20.

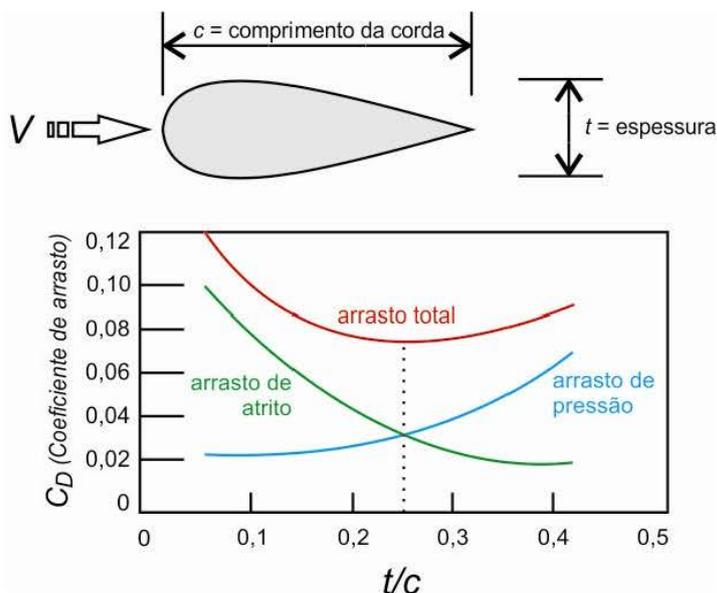


Figura 20: comparativo forças de arrasto

Fonte: adaptado de Fox e Mcdonald, 1992

O gradiente de pressão em volta de uma forma de “lágrima” (um cilindro carenado) é menos severo do que aquele em volta de um cilindro de seção circular. Ocorre quando a razão entre a espessura e a corda T/C é 0,25. Este valor é aproximadamente 20% do coeficiente mínimo de arrasto de um cilindro circular da mesma espessura, ou seja, cinco vezes mais eficiente mantendo a mesma espessura. A espessura máxima para as formas está localizada aproximadamente 25% da corda a partir da borda de ataque. A maior parte do arrasto nessas formas é devido ao atrito superficial nas camadas-limite turbulentas das seções posteriores afuniladas. Testes em túneis de vento especiais mostram que o escoamento laminar pode ser mantido pelo adequado carenamento do perfil. (FOX; MCDONALD, 1992).

O interesse em economia de combustível resultou em importantes incentivos para se chegar a projetos de automóveis que apresentam eficiente desempenho aerodinâmico e ao mesmo tempo formas atraentes. Aplicações desse gênero também são importantes para ônibus e caminhões, visando a economia de combustível, uma vez que esses veículos percorrem distâncias consideravelmente grandes e possuem elevados coeficientes de arrasto (V-FLAP, 2010).

Traseiras carenadas normalmente não são aplicadas em veículos rodoviários devido ao aumento do comprimento, o que dificulta a mobilidade no trânsito.

Entretanto, é possível aperfeiçoar os contornos dianteiro e traseiro, dentro das medidas máximas desejadas para comprimento total. Estudos têm mostrado que são possíveis reduções de arrasto em torno de 30% com a atenção à dianteira (V-FLAP, 2010). É possível reduzir o arrasto de um veículo através de projetos práticos, com dispositivos na forma de acessórios que podem ser afixados na carenagem com objetivo de conduzir o caminho percorrido pelo escoamento, de forma a diminuir o arraste aerodinâmico.

Apesar de ser uma das formas mais aerodinâmicas conhecidas, a gota não tem um formato adequado para ser aplicado no design de carenagens de carros, visto que a proximidade do solo interfere no desempenho do escoamento inferior. Seu formato de corte arredondado não permite que ela tenha uma distância razoável do solo, e o encaixe das rodas fica prejudicado. O que pode ser feito é cortar ao meio tentando manter a simetria imaginária do fluxo, pois o que ocorre em um lado da gota não influi no fluxo do outro lado. Deste modo, é possível usar meia gota, junto ao solo, com resultado igual ao de uma gota isolada (CÔURAS FORD, 2008).

Essa forma é eficiente apenas quando o veículo fica bem próximo ao solo como é o caso de carros de corrida, mas isso habitualmente não ocorre, pois existe um vão entre o chassi e o solo, de aproximadamente 20cm em média nos veículos de uso urbano. Desse modo, é possível encontrar uma geometria intermediária entre a gota e a meia-gota, ou seja, um fusão assimétrico, o que permite que as linhas do fluxo sigam melhor a forma da sua linha média, como mostram as Figuras 21 e 22 (NICOLAZZI; ROSA, 2001).

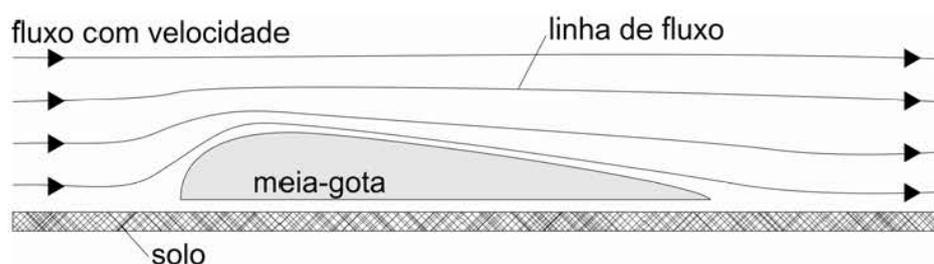


Figura 21: meia-gota, com fluxo simétrico imaginário

Fonte: Nicolazzi e Rosa, 2001

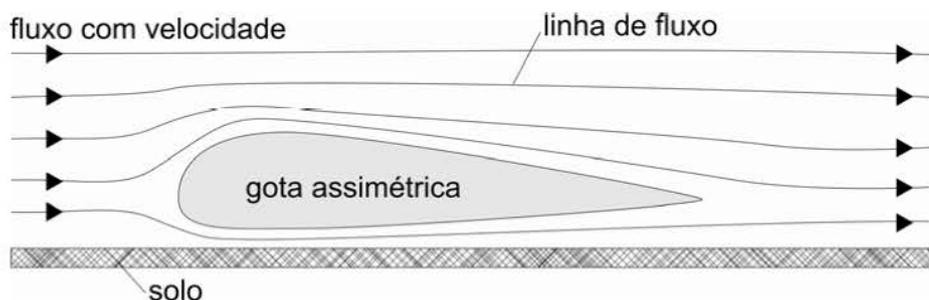


Figura 22: gota assimétrica
Fonte: Nicolazzi e Rosa, 2001

Essa forma apresenta um CD da ordem de 0,13 que é satisfatório, porém apresenta algumas características indesejadas: dificuldade de colocação das rodas; veículo muito comprido, dificultando mobilidade; elevada força de sustentação, o que torna perigoso em altas velocidades.

2.8.4.7 Princípio De Jaray (Forma J)

Jaray propôs uma forma de carenagem que aprimora o conceito da gota assimétrica onde se sobrepõe uma semi-gota de modo a formar a cabine e foi adotado por alguns veículos na época, entre eles o Citroen DS e o Porsche 911, conforme mostra a Figura 23 Nicolazzi e Rosa (2001).

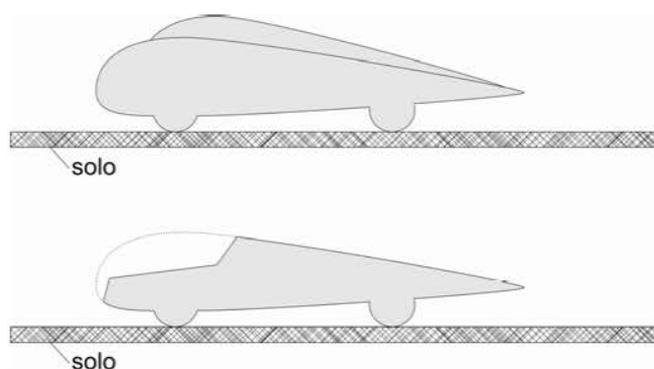


Figura 23: formas de carenagens propostas por Jaray
Fonte: Nicolazzi e Rosa, 2001

No entanto, para redução do comprimento foi sugerido encurtar a parte traseira do veículo, o que acabou gerando novamente um aumento arraste de

pressão (Figura 24). Essa nova forma foi o que deu origem ao VW Sedam, mais conhecido como Fusca no Brasil.

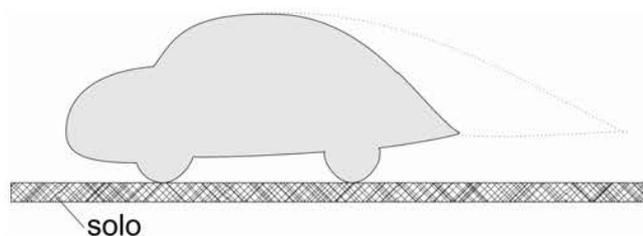


Figura 24: forma de Jaray modificada

Fonte: Nicolazzi e Rosa, 2001

2.8.4.8 Princípio de Kamm (Forma K)

Kamm, por volta de 1940, apresentou sua concepção que cortava a traseira do veículo apresentando uma superfície, e não uma aresta. Ele propunha manter a diminuição da seção traseira de maneira suave, de forma a não causar deslocamento da camada limite até o ponto de corte. Ele se baseou na idéia de que a perda de energia das partículas a partir do ponto de transição não necessita mais ter contato com a superfície do veículo, e dessa forma, a carenagem não cumpre mais a missão de dirigir o fluxo de ar e de diminuir a resistência aerodinâmica total, assim podendo simplesmente ser cortada (CÓURAS FORD, 2008).

A solução apresenta uma resistência superior à forma J original, mas com comprimento do veículo bem menor. Para as duas formas com mesmo comprimento, a forma de Kamm possui menor coeficiente de resistência, pois a área de turbulência é sensivelmente menor. Com esta solução consegue-se um comprimento razoavelmente aceitável e, ainda, um melhor espaço interno do veículo, conforme mostram as Figuras 25 (Nicolazzi e Rosa, 2001).

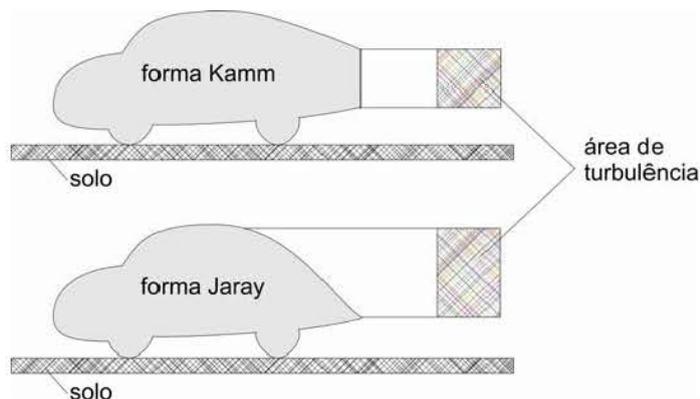


Figura 25: área de turbulência para as formas de Kamm e Jaray

Fonte: Nicolazzi e Rosa, 2001

2.8.4.9 Estudos de Lay

Lay, da Universidade de Michigan, demonstrou em 1933 que existe uma correlação entre a eficiência aerodinâmica dianteira e traseira. Ele comprovou que caso seja modificada a frente, acarretará numa influência sobre a eficiência na traseira, visto que a turbulência gerada anteriormente vai acarretar um ponto de descolamento antecipado, o que vai aumentar o turbilhamento na parte posterior. Também comprovou que uma variação da inclinação do vidro de até 45° não modifica o arraste aerodinâmico com valores representativos, conforme ilustra a Figura 26 e resultados apresentados na tabela 3 (CÔURAS FORD, 2008).

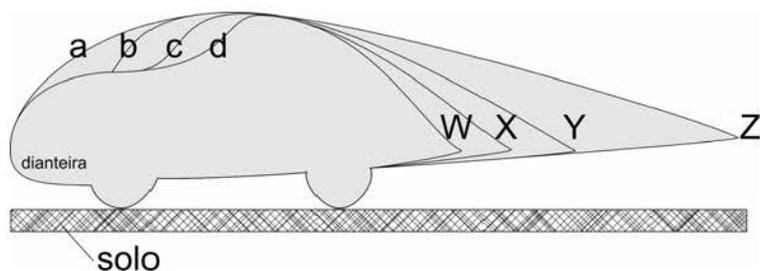


Figura 26: modelo usado por Lay em seus estudos

Fonte: Nicolazzi e Rosa, 2001

Tabela 3 - Estudo de Lay – Coeficiente Arraste Comprimento / Modelo Frente

		Comprim. Traseira			
		W	X	Y	Z
Frente do Modelo	d	0,35	0,35	0,32	0,24
	c	0,32	0,36	0,25	0,17
	b	0,30	0,23	0,21	0,12
	a	0,30	0,24	0,20	0,12

Fonte: adaptada de Nicolazzi e Rosa, 2001

Comprovou-se com isso que a condição ideal é trabalhar em conjunto dianteira e a traseira, para que se obtenha reduzidos índices de arraste aerodinâmico.

2.8.4.10 Efeito bola de golf

Um efeito interessante foi descoberto ao acaso por praticantes de golf. Eles observaram que as bolas mais usadas percorriam trajetos maiores que as novas e se indagaram qual seria o motivo? Foi então que perceberam a única diferença entre as novas e usadas eram as “mossas” (concauidades) de amassamento que eram presentes apenas nas bolas mais velhas. Para testes, reproduziram um novo modelo com a superfície recoberta de concauidades, e constataram que assim também percorriam distâncias tão longas quanto as bolas usadas. Dessa forma, a correspondente redução da força de arrasto pode afetar apreciavelmente a distância percorrida por uma esfera onde as concauidades têm a finalidade de gerar microvórtices que retraem o ar para mantê-lo mais perto da superfície, e assim, garantir escoamento de camada limite turbulento e arrasto mínimo (FOX; MCDONALD, 1992).

2.8.4.11 Aerofólio

Aerofólios para automóveis são projetados para gerarem uma força de sustentação invertida e assim aumentarem a pressão sobre as rodas onde são

aplicados. Também servem para direcionar o ar para dentro da zona de turbulência que fica posterior separação da camada limite, e assim contribui para a diminuição da esteira (FOX; MCDONALD, 1992).

2.8.4.12 Winglet / flaps / defletores / aba de Gurney

É possível ocorrerem oscilações de arrasto e flutuação em superfícies geometricamente simétricas, como é o caso de uma esfera, ou de um cilindro. O escoamento em torno de um cilindro circular liso pode desenvolver uma configuração regular de desencadeamento de vórtices alternados. O trilho de vórtices provoca uma força de sustentação oscilante sobre o cilindro perpendicular ao movimento da corrente. As mesmas oscilações responsáveis por promover o balanço das bandeiras fixadas em mastros cilíndricos, são indesejadas na maioria dos casos, pois isso pode causar uma variação indesejada da trajetória. O acréscimo de elementos de rugosidade ou aletas – seja axial ou helicoidalmente – eliminam a simetria do cilindro estabilizando o escoamento, e conseguem reduzir as oscilações locais da transição entre o escoamento laminar e turbilhamento na camada limite (FOX; MCDONALD, 1992).

Arestas podem criar um fluxo de ar turbulento gerando um vórtice antecipado o que separa a camada limite e aumenta o arrasto. Entretanto, abas ou aletas podem ser aplicadas na traseira de um veículo perpendiculares ao sentido do fluxo, e são conhecidas como aba de Gurney (figura 27). Também nas laterais de aerofólios podem ser instaladas winglets que são abas perpendiculares em suas extremidades. Ambos os sistemas funcionam bloqueando o escoamento que tende a migrar da região de alta pressão para região de baixa pressão. Na parte inferior traseira do veículo podem ser instalados defletores que favorecem o movimento de ascensão do fluxo de ar inferior e com isso é possível reduzir os vórtices de fuga. (FOX; MCDONALD, 1992).

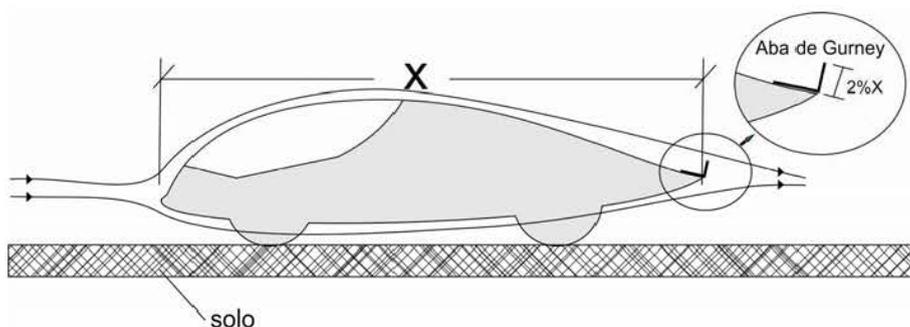


Figura 27: aba de Gurney
Fonte: Nicolazzi e Rosa, 2001

2.8.4.13 Palhetas direcionais – geradores de vórtices

Podem ser instaladas palhetas direcionais no ponto de transição da camada-limite laminar, para a camada-limite turbulenta, o que induz a divisão do fluxo de ar e o surgimento de vórtices que reduzem as mudanças de direção, conforme mostra a Figura 28. Este efeito pode retardar a separação de fluxo nas áreas traseiras diminuindo a área de baixa pressão (CÓURAS FORD, 2008).

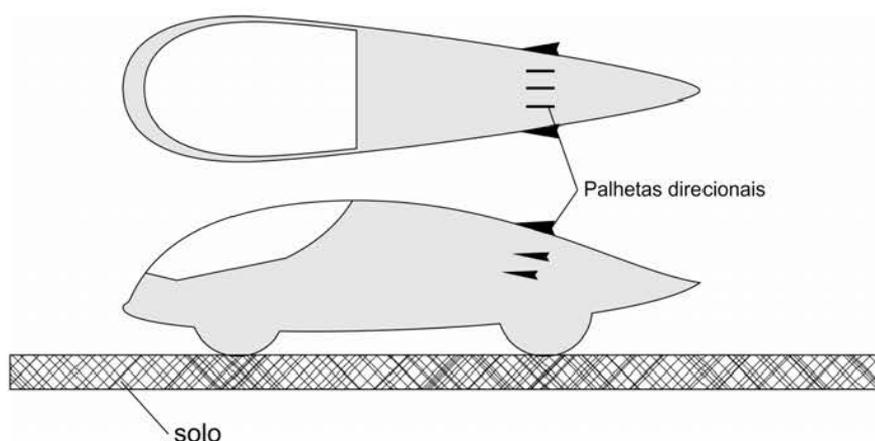


Figura 28: palhetas direcionais no ponto de transição
Fonte: adaptado de Cöuras Ford, 2008

2.8.4.14 Influência do arredondamento das arestas laterais

Segundo Carregari (2006), o escoamento ao redor de dois modelos de vans, sendo um deles com cantos vivos e o outro com cantos arredondados, possuem coeficientes de arrasto C_D de 0,76 e 0,42, respectivamente. O valor correspondente

ao modelo com cantos vivos propiciava o escoamento descolado na superfície lateral, gerando uma esteira turbulenta maior. O valor referente ao outro modelo proporcionava o escoamento colado ao longo da superfície lateral, gerando uma esteira menor.

2.8.4.15 Cantos e ranhuras transversais

A utilização de cantos e ranhuras transversais é um recurso utilizado para evitar a propagação da separação da camada limite em sentido à dianteira. Devem ser aplicadas em zonas críticas na forma de um pequeno prolongamento da parte externa, conforme a Figura 29 (CÔURAS FORD, 2008).

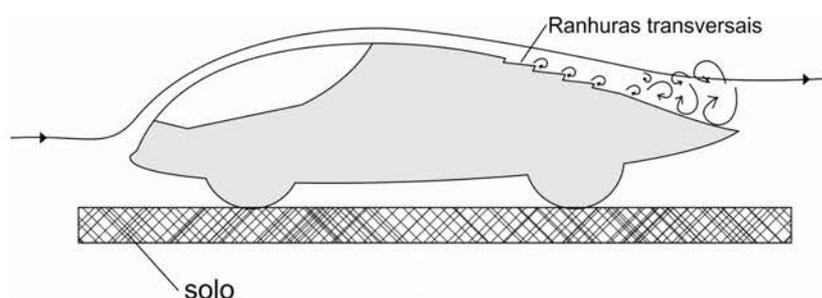


Figura 29: utilização de cantos auxiliares em locais de deslocamento da camada limite

ADAPTADO: Côuras Ford, 2008

2.8.4.16 Distribuição de pressão

A distribuição de pressão sobre a carenagem influi de maneira direta no comportamento aerodinâmico do veículo e pode melhorar seu desempenho em curvas. Quanto menos variação de pressão, menor será a formação de turbulência em sua superfície, e assim favorecerá o movimento. Para diminuição das forças de sustentação na parte frontal do veículo recomenda-se que a traseira seja mais alta que a dianteira de modo que o ângulo de ataque efetivo fique próximo de zero ou então seja negativo - Figura 30, (NICOLAZZI; ROSA, 2001).

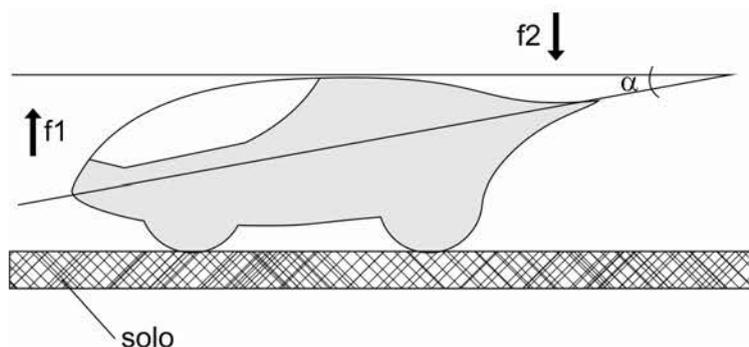


Figura 30: uso de traseira alta para redução de forças de sustentação na parte frontal

Fonte: Nicolazzi e Rosa, 2001

Outro recurso aerodinâmico recomendado é a utilização de spoiler na base da dianteira do veículo para diminuir a força de sustentação na parte frontal, e assim firmando as rodas no chão melhorando a aderência em curvas, conforme as Figura 31.

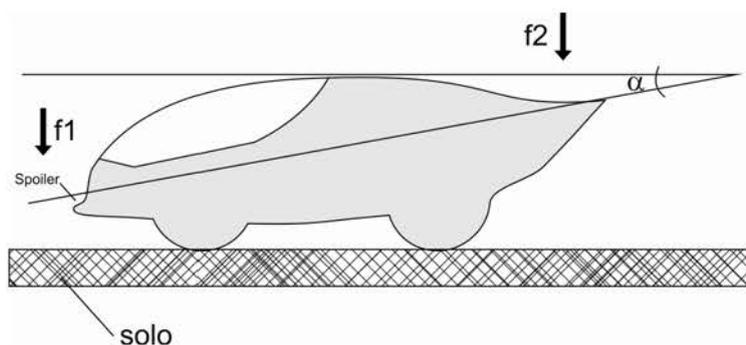


Figura 31: uso de spoiler na dianteira do veículo

Fonte: Nicolazzi e Rosa, 2001

Com base nas afirmações de Nicolazzi e Rosa (2001), a geometria de carenagem de veículo a ser desenvolvida em um futuro próximo será capaz de produzir uma resistência induzida forçando o veículo para baixo como está ilustrada na Figura 32.

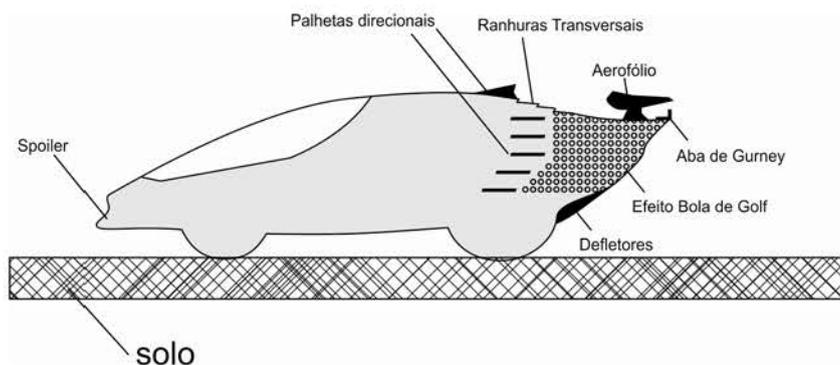


Figura 32 - Forma geometria provável da carenagem do futuro

Fonte: Adaptada de Nicolazzi e Rosa, 2001

Para atingir a forma ideal, também sugere o desenvolvimento de carenagens dinâmicas que mudam sua forma de acordo com a velocidade e a necessidade momentânea dos usuários (NICOLAZZI; ROSA, 2001).

2.8.4.17 Dinâmica dos fluidos computacional

Diante de pressões da concorrência por projetos mais inovadores e produtos mais seguros, muitos fabricantes têm empregado a tecnologia de engenharia auxiliada por computador (*computer aided engineering* - CAE) para desenvolver modelos e protótipos virtuais como ferramenta de auxílio aos seus projetos. Através de alguns softwares avançados, podem ser realizados testes complexos para prever como serão os comportamentos físicos do produto obtendo informações de maneira rápida e precisa. Essa tecnologia, que é utilizada para obtenção das informações necessárias ao desenvolvimento do produto fazendo recebe o nome de análise de elementos finitos (*finite element analysis* – FEA). Com esse tipo de análise pode-se minimizar ou até eliminar a necessidade da construção de protótipos físicos e de testes. Dessa maneira, são capazes de reduzir o tempo do ciclo de projeto e torná-los mais confiáveis, além de resolver diversas situações que podem ser simuladas antecipadamente para solucionar problemas (GOIS; PITERI, 2002).

Pretende-se através desse trabalho, demonstrar as possibilidades de utilização de ferramentas computacionais com recursos importantes que fazem parte

da metodologia de desenvolvimento de projetos automotivos. Para tanto, são realizados apontamentos de maneira qualitativa sobre as ilustrações geradas a partir das simulações computacionais demonstrando quais aspectos podem ser aprimorados.

2.8.5 Materiais

Os carros ultraleves podem custar menos que os tradicionais, e podem reduzir cada um dos quatro parâmetros básicos de fabricação: o tempo que um design conceitual demora em se transformar em um novo carro na rua, o investimento exigido pela produção, o espaço de tempo necessário para montagem e o número de peças na carenagem do carro. (HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 2007).

2.8.5.1 Compósitos Sintéticos e Naturais

O emprego de novos materiais na fabricação de automóveis pode trazer benefícios em termos de ecologia, segurança e custo. Atualmente, a indústria baseia-se no aço, porém outros processos como é o caso da fabricação a partir de compósitos de fibras encontram resistência de aceitação por falta de conhecimento das vantagens. Os materiais compósitos podem ser definidos como sendo aqueles obtidos a partir da combinação de dois ou mais componentes, cujas propriedades resultantes são diferentes das de cada um destes componentes individualmente. Atualmente, é possível reduzir o Peso Bruto Total dos veículos com materiais compósitos sintéticos, como é o caso da fibra de carbono, fibra de vidro e kevlar (poliamida). Também é interessante o uso de compósitos com resinas e fibras naturais, visto que a composição dos materiais e fabricação evoluíram no sentido de reduzir ou atenuar os impactos ambientais. (MEDINA, 2001, p.19).

Projetos de carrocerias do tipo “monocoques”, absolutamente desprovidos de estrutura (como um ovo), economizam o uso de materiais de alto custo e diminuem o peso. Outra vantagem das carenagens feitas com compósitos é que são retiradas dos moldes já prontos e acabados, podendo ser moldados em apenas cinco a vinte

peças, enquanto as que são feitas de aço reúnem aproximadamente duzentas a quatrocentas partes. As peças em metal precisam uma média de quatro máquinas operatrizes de aço, enquanto os compósitos são moldados na forma desejada em uma única etapa, o que reduz o preço das máquinas operatrizes. São peças de fácil manuseio. Além disso, são unidas com uso de resina e colas, diferentemente do aço que necessita soldas, rebites e parafusos, o que gera um trabalho adicional. A pintura (etapa mais difícil e poluente da fabricação de automóveis, que resulta em 25% a 50% do custo final das partes pintadas) pode ser eliminada pela tinta aplicada no próprio molde de fibra durante a laminação. Essas características podem tornar as peças da carenagem feitas em fibra, mais vantajosa em termos de custos em relação aos custos do aço. A fibra possui facilidade de possíveis consertos ocorridos por colisões, e sua composição é extremamente resistente à intempérie, o que possibilita aumentar a vida útil do veículo. A carenagem de materiais compósitos não é sujeita à ferrugem, e assim pode durar décadas até ser enfim reciclada (HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 2007).

A utilização de compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais não é recente e as primeiras patentes datam da década de 60. A partir da década de 90, uma visão mais “ecológica” do processo industrial fez ressurgir o interesse em materiais renováveis, tais como as fibras e os óleos vegetais, principalmente na indústria automotiva. Uma importante característica destes materiais é a capacidade de fraturar sob impacto sem soltar lascas. Associado aos aspectos tecnológicos e econômicos, a questão social é também um forte argumento para o incentivo da produção destes compósitos, uma vez que estes materiais são geralmente oriundos de regiões economicamente pobres. Outro fator favorável é a possibilidade de descartar o material biodegradável no final do seu ciclo de vida com maior facilidade do que os materiais sintéticos. As fibras vegetais mais utilizadas como material de reforço em compósitos poliméricos são as fibras de sisal, coco, juta e banana, além de fibras de madeira, bagaço e bambu (Rowell et al., 1997).

Os compósito denominados “oko-composite” são formados quando fibras vegetais são associadas com resinas derivadas de óleos vegetais derivados de fontes renováveis. Se o polímero utilizado for biodegradável tem-se o chamado “bio-composite” ou compósito biodegradável. (Schuh; Gayer1, 1997). Um exemplo desse

tipo de combinação é formada pela mistura de resina poliuretano derivada do óleo de mamona e fibras de sisal ou coco.

2.8.5.2 Resinas naturais

As resinas poliuretano podem ser derivadas tanto do petróleo como de fontes naturais, e neste caso tem-se os chamados “biomonômeros” que podem ser obtidos de fontes renováveis, como os óleos vegetais. Estes óleos vegetais normalmente derivam de, soja, milho, açafrão, girassol, canola, amendoim, oliva e mamona, entre outros (Petrovic, 1999).

2.8.5.3 Fibras vegetais

As fibras oriundas do caule ou das folhas são as chamadas fibras duras e são as mais utilizadas como reforço em compósitos poliméricos. A classificação das fibras vegetais decorre de suas origens e podem ser agrupadas em fibras de caule (juta, linho, cânhamo), fibras de semente (algodão), fibras de folhas (bananeira, sisal, piaçava, curauá, abacá, henequém), fibras de fruto (coco) e fibras de raiz (zacatão) (Morassi, 1994).

2.8.5.4 Fibra de sisal

O principal e mais conhecido produto do sisal é o fio biodegradável utilizado para empacotamentos em geral. Atualmente, com o uso de fibras sintéticas para tal fim, e a valorização de matérias naturais, cresce a necessidade de novos usos para essa matéria prima. As fibras de sisal classificam-se no grupo de fibras chamadas “estruturais”, cuja função é a de dar sustentação e rigidez às folhas. São extraídas das folhas por um processo que utiliza uma desfibradeira e apresentam um excelente comportamento quando utilizadas como reforço estrutural em materiais compósitos.

2.8.5.5 Fibra de coco

Nas últimas décadas esforços de pesquisa e desenvolvimento vêm sendo realizados para o aproveitamento tecnológico das fibras naturais que podem ser extraídas de diversas partes do coqueiro. Em particular, as fibras contidas no fruto, tanto verdes como seco, já encontram utilizações com repercussão no comércio mundial como o uso em estofamento de automóveis de padrão internacional.

Destas fibras lignocelulósicas, as da camada externa do exocarpo do fruto do coco, conhecidas em inglês como “coir”, apresentam um grande potencial de uso em compósitos de matriz polimérica.

2.8.5.6 Fibra de curauá

Uma pesquisa realizada por Araújo et al. (2002) analisou compósitos com elastômeros de poliuretano comercial e derivado de óleo de mamona, reforçados com fibras de curauá, e foi constatado que os compósitos com poliuretano derivado do óleo de mamona exibiram excelente estabilidade térmica.

2.8.5.7 Reciclagem de compósitos

Em um estudo realizado por Carneiro Pinto (2002), foi testada a aplicação de resíduos de compósitos de fibra de vidro em três matrizes diferentes para avaliar a viabilidade de sua aplicação em áreas não afins. A partir da moagem dos resíduos e posterior incorporação em suas composições, verificou-se uma excelente aplicação no caso de cerâmicas estruturais, onde se identificou um potencial de uso sem perda das propriedades físicas e mecânicas. Além disso, apresentou redução de sua massa específica, formando uma mistura homogênea e de fácil moldagem. Dessa forma foi comprovada a possível introdução do resíduo de poliéster reforçado com fibras de vidro no mercado da construção civil.

Outro estudo realizado Silva et al (2001) alcançou por meio de métodos mecânicos, térmicos e espectroscópicos e junto à ação de aditivos modificadores de superfície, uma variação das propriedades de compósitos de resina de poliéster insaturado, utilizando material triturado de protetores telefônicos como carga reforçante. O material final obtido apresenta propriedades mecânicas apreciáveis (Módulo de Elasticidade: 5,21GPa; Resistência à Flexão: 39,88MPa) mesmo com altos índices de carga reforçante (70% em massa, respectivamente), validando o método de reciclagem desenvolvido.

Também existem técnicas de aplicação dos resíduos em produtos onde se buscam propriedades diferentes, como é o caso do uso para isolamento de ruídos, fabricação de madeira plástica (WPC) e material carburante em combustores industriais. Normalmente as aplicações mais promissoras para as fibras recuperadas são aquelas que necessitam de fibras curtas. As perspectivas são potencialmente mais atraentes para reciclagem de fibra de carbono, pois é um material muito mais valioso, e custa aproximadamente dez vezes mais do que a fibra de vidro (PICKERING, 2005).

Uma análise de custo do processo de reciclagem de compósitos foi realizada, e concluiu-se que pelo menos 10.000 toneladas por ano seria necessário para a operação se tornar rentável. Além disso, comercialmente requerem grandes demandas e os mercados precisam ser desenvolvidos para consumir tais quantidades. As empresas que aderirem às tecnologias de fabricação a partir de materiais compósitos, podem investir em um fundo que vai gerenciar a reciclagem de compósitos em uma escala pan-europeia, que financiará as atividades de reciclagem. O sistema está em seu estágio inicial e pode concentrar-se em materiais compósitos na indústria automobilística (PICKERING, 2005).

2.8.6 Biônica

Com o objetivo de encontrar soluções alternativas para o desenvolvimento de veículos eficientes, a Biônica oferece uma metodologia que pode ser utilizada de

maneira eficaz. Através de bilhões de anos de evolução, os seres vivos encontraram meios de sobrevivência e perpetuação das espécies. Isso ocorreu a partir de adaptações ocorridas em suas estruturas morfológicas, habilidades e comportamentos. Tais sistemas tornaram-se uma excelente fonte de referências para solução de problemas de engenharia, arquitetura, design, e outras áreas de projeto. Isso porque é possível realizar analogias entre a solução encontrada pela natureza e a solução desejada para resolução dos problemas em questão. Dessa maneira, o ser humano sempre procurou na natureza soluções para resolver seus problemas do cotidiano, como é o exemplo de utensílios domésticos, ferramentas e armas. Essa gama de informações e a reprodução das mesmas geram grandes possibilidades de avanços tecnológicos. A observação de maneira consciente e técnica podem trazer resultados com melhor desempenho, por meio do controle de métodos aplicados na concepção de produto.

O Dicionário Michaelis descreve a Biônica como “a ciência e tecnologia que relaciona o conhecimento das funções, características e fenômenos de sistemas vivos com o desenvolvimento de sistemas artificiais. O termo Biônica (BION = vida, IKOS = estudo), introduzido por Jack Steele na década de 1960, é descrito como a ciência dos sistemas que possuem algum tipo função semelhante à natureza, ou que representem características do sistema natural de maneira análoga. Dessa maneira, a Biomimética representa uma gama de estudos com aplicação de mecanismos e funções copiados das ciências biológicas, e torna possível aplicar esses conceitos na dinâmica dos fluidos, sensores de energia alternativas, materiais e outras aplicações (NAGEL, 2010).

A solução de problemas é considerada por Jonassen (2000) como sendo a atividade mais importante na rotina diária do ser humano. Tais problemas possuem diferentes níveis e tipos de complexidades, que podem ser avaliadas a partir da quantidade de variáveis, funções e restrições (SAVRANSKY, 2000). Para superá-las, o indivíduo busca encontrar as informações certas para o problema quando requeridas e muitas delas estão disponíveis com a simples observação e análise da natureza.

Há um diálogo na Bíblia que, de certa forma, demonstra como já era dito que é possível usar a natureza como fonte de inspiração no trecho: "Zofar, faça perguntas às aves e aos animais, e eles o ensinarão. Peça aos bichos da terra e aos peixes do mar, e eles lhe darão lições" (Jó 12:7 e 8, BLH).

O italiano Leonardo Da Vinci, que viveu de 1452 a 1519, foi uma das figuras mais importantes do Alto Renascimento, e destacou-se como cientista, matemático, engenheiro militar, inventor, anatomista, pintor, escultor, arquiteto, botânico, poeta e músico. Realizou juntamente com suas obras artísticas, muitos inventos com base em seus vastos conhecimentos nas ciências biológicas e matemática. Em um dos seus estudos, Da Vinci projetou em 1490 o ornitóptero (do grego ornithos "ave" + pteron"asa") que é um aparelho voador leve, porém mais pesado do que o ar. Para concepção do mesmo, baseou-se nas asas de morcego que eram comandadas através de alavancas e manivelas, cuja função eram a sustentação.

A Daimler Chrysler com engenheiros do estúdio de conceitos avançados e centro de tecnologia da Mercedes, em Sindelfingen, Alemanha, promoveu um estudo de um veículo chamado DCX Bionic. Desenvolveram o mesmo tomando como base o formato de um peixe conhecido como Boxfish, ou "peixe caixa". O Boxfish é uma maravilha aerodinâmica e apesar de sua aparência volumosa, é muito hábil nadador (SHARKE, 2005).



Figura 33: veículo inspirado no peixe Boxfish

Fonte: SHARKE, 2005

Boa parte da energia necessária para trafegar nas estradas é usada para superar a resistência do ar e isto aumenta rapidamente em alta velocidade. Portanto, um veículo com aerodinâmica significativamente melhor (menor valor arraste aerodinâmico - CD) será muito mais eficiente. Com essa pesquisa, conseguiram atingir coeficientes aerodinâmicos extremamente reduzidos de apenas 0,06 em túnel de vento e arraste aerodinâmico com valor de apenas 0,19, o que resultou também numa excelente aceleração. Movido por um motor de 138cv 2.0cc turbo-diesel, pode ir de 0 a 60 mph (96km/h) em apenas 7,9 segundos, o que é o mesmo alcançado somente por veículos esportivos. Além disso, se basearam na formação óssea do peixe que é extremamente leve e possui elevada resistência. Em testes regulamentados pela legislação americana, o veículo apresentou consumo de 29km/l de diesel. Isso representa aproximadamente ganho de 30% em consumo comparado a veículos convencionais de mesma categoria (SHARKE, 2005).

Outro estudo conduzido por SONG et al, (2011), realizado no Departamento de Engenharia Mecânica da Zhejiang University, Hangzhou, na China, baseou-se na Biônica para melhoramento aerodinâmico aplicado a veículos. Visando reduzir ainda mais o arrasto aerodinâmico, foram feitos testes bem sucedidos com superfícies não lisas inspiradas em exemplos da natureza. Essas superfícies formadas por poços e sulcos foram concebidas para serem adaptados a partir do ponto de transição da camada-limite e com isso podem retardar a separação do escoamento, assim diminuindo a perda de energia cinética gerada pela turbulência.

O capô e o teto foram tratados individualmente como unidades não lisas (Figura 34), e o veículo foi submetido a testes de simulação pelo método de análise CFD (Dinâmica de fluidos simulada por computador).

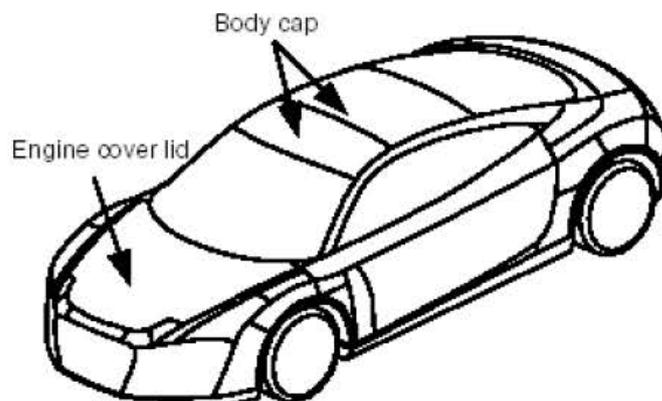


Figura 34: modelo CAD da carenagem veicular

Fonte: Song et al, 2011

O coeficiente de arrasto aerodinâmico obtido do carro com superfícies lisas foi de $CD = 0,3197$. Considerando a margem de erro de $\pm 4\%$, é possível comparar o resultado coeficiente de arrasto com veículos como Cruze, Laida, e outros carros existentes, Dessa forma, o intervalo de coeficiente de arrasto obteve valores entre $CD = 0,31$ e $0,33$ (SONG et al, 2011).

Os resultados de simulação computacional mostraram que quando a velocidade do veículo atinge 30 m/s, há uma taxa de redução de arraste em 10,31% (Figura 35) com a utilização de superfícies não-lisas adequadamente projetadas, em comparação com superfícies lisas comprovando uma melhoria significativa (SONG et al, 2011).

D = diâmetro concavidade

S = distância entre centro de concavidades

L = afastamento entre centro de concavidades

H = profundidade concavidade

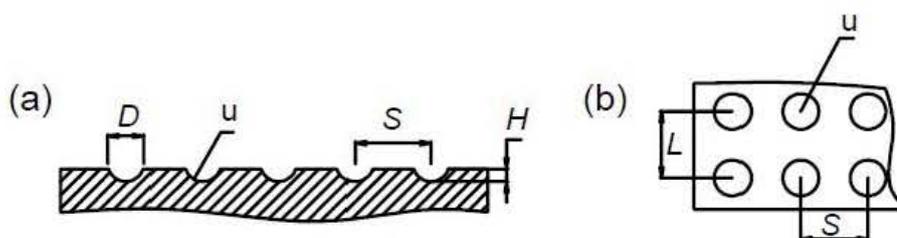


Figura 35: representação da superfície não lisa e variáveis a considerar

Fonte: Song et al, 2011

De acordo com os estudos anteriores, a fim de diminuir o desprendimento da camada limite para alcançar a redução de arrasto, a altura ou a profundidade das concavidades das superfícies não-lisas deverá ser menor que a distância entre elas. Deverão ser aplicadas na parte anterior ao descolamento da camada limite, pois após isso suas influências não contribuirão para o efeito desejado (SONG et al, 2011).

2.8.6.1 Escolha do *Límulus* como referência

O caranguejo-ferradura (*Límulus polyphemus*) recebe esse apelido, pois tem uma carapaça dorsal rígida em forma de ferradura, mas na realidade não é um caranguejo. Trata-se de um artrópode que tem características como nenhum outro, e é encontrado na costa noroeste do Atlântico, no golfo do México, na Bahia de Delaware ou nas águas do Pacífico Sul. O *Límulus* Figura 36, considerado o ser vivo mais antigo do planeta Terra, é tratado como um fóssil vivo e possui uma morfologia física e funcional que muito pouco se modificou desde a sua origem a mais de 300 milhões de anos. Possui a capacidade de se deslocar facilmente na água e se enterrar na areia e isso permitiu sua longa sobrevivência, favorecida por uma boa penetração aerodinâmica e proteção contra predadores. Possui a rara habilidade de regenerar seus membros perdidos, de uma forma similar ao que fazem as estrelas-do-mar e seu tamanho pode chegar a 50cm de largura(ESPECTRO CIENTÍFICO, 2012).



Figura 36: foto do *Límulus*

Fonte: concedido pelo museu de Paleontologia da UFRGS

A partir dessas características, supõe-se que o *Límulus* possua configuração física e funcional interessante para ser aplicada em um miniveículo de três rodas. Devido ao fato de ter sobrevivido a tantas eras e uma forma que se assemelha a uma gota, pressupõe-se que tenha na morfologia do seu exoesqueleto condições eficientes à proteção e fuga dos predadores, bem como facilidade em deslocamento na água e penetração na terra. Tais características são pertinentes ao estudo de miniveículos, pois os mesmos são vulneráveis no trânsito em relação aos veículos maiores, e também quando se deseja uma boa capacidade de mobilidade aliada a uma boa aerodinâmica para diminuição do consumo combustível, ou aumento da autonomia.

Conforme a metodologia exposta por Wilson Kindlein (2005), abaixo serão realizadas etapas que buscam informações das características biológicas do ser vivo escolhido. Tal verificação é importante para o domínio do assunto e dessa forma servem de preparação às etapas subseqüentes de criação.

2.8.6.2 Tempo Geológico

Cada uma das três Eras, Paleozóica, Mesozóica e Cenozóica - ilustra um momento especial da história da Terra e o limite entre as Eras é pautado por eventos de extinção em massa. Dentro da Era Paleozóica ("vida antiga") estão vários períodos, entre eles o Cambriano que data de 545 a 495 milhões de anos, e é nesse período o surgimento do *Límulus*. Esse período tem os primeiros registros de animais com partes duras mineralizadas, e o *Límulus* praticamente não mudou desde o Triássico graças a um extraordinário sistema imunológico e sua morfologia. Os glóbulos do *Límulus* liberam anticorpos para combater infecções que os cientistas estão utilizando em tratamentos, e é caracterizado pela cor azul devido à presença de cobre. Ao entrar em contato com bactérias, o sistema imunológico do *Límulus* libera enzimas do seu sangue que coagulam criando uma barreira protetora contra a invasão de micróbios. Então as células do sangue liberam um antibiótico natural que os destroem (SETOR DE PALEOVERTEBRADOS UFRGS, 2012).

2.8.6.3 Classificação taxonômica - Artrópodes

Eles possuem simetria bilateral, e corpo dividido em cabeça, tórax e abdômen. São formados a partir de um exoesqueleto contendo proteínas, lipídios, e carbonato de cálcio, muitas vezes quitina, e essa característica tem as seguintes vantagens: sistema complexo muscular que é fixado ao exoesqueleto; proteção; impermeável; barreira contra a dessecação (desidratação); e barreira contra infecções.

O Filo Artropodes é composto de diferentes classes e o Límulus se enquadra no Subfilo dos Quelicerados que possui as seguintes características:

- Corpo dividido em duas regiões: cefalotórax (prossomo) abdômen (epistossomo)
- Ausência de antenas e mandíbulas
- Primeiro par de quelíceras (apêndices pontiagudos que são utilizadas para segurar a comida)
- Segundo par de apêndices: pedipalpos
- Quelicerados aquáticos, com 5 ou 6 apêndices abdominais modificados como brânquias
- Telson (cauda) em forma de espinho.

2.8.6.4 Características Fisiológicas

Sua carapaça possui dois olhos compostos nas laterais com cerca de 1000 fotorreceptores formados por unidades cilíndricas e longas, chamadas Omatídeos, responsáveis pela recepção de luz, e dois olhos simples na parte frontal, que processam a informação visual. Para se deslocar no mar, nadam utilizando suas placas abdominais, e na terra caminham com seus cinco pares de pés. Também respiram através das brânquias.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 APLICAÇÃO DOS CONCEITOS E TESTES

Inicialmente, procedeu-se a definição do problema que, segundo Bonsiepe et. All (1984, p.43), “consiste em listar os requisitos funcionais e os parâmetros condicionantes do produto a ser desenvolvido”, conforme está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Definição dos Fatores Projetuais – Hierarquização crescente de grau de relevância
Fonte: Bonsiepe et. al, 1984

Contribuição	Descrição	Hierarquização		
Ecológica	Desenvolvimento de um conjunto de componentes que diminuem o impacto ambiental devido à minimização dos recursos, e utilização dos conceitos de eco sustentabilidade aplicados ao desenvolvimento do produto.	1	2	3
Econômica	O veículo com eficiência energética, tem como maior característica a redução do consumo de combustíveis, o que o torna muito mais econômico se comparado aos veículos tradicionais. Também o consumo de materiais na sua produção que reduz o custo de fabricação para realização de uma mesma tarefa.	1	2	3
Tecnológica	Através da aplicação de metodologias, o projeto serve como material de referência para desenvolvimento de futuros projetos de veículos que possam ter o mesmo tipo de enfoque na sustentabilidade, e demonstra como se obter resultados a partir da tecnologia aplicada à bionica.	1	2	3
Filosófica	Segue a tendência do uso da tecnologia aplicada ao melhoramento da eficiência energética dos produtos, com o objetivo de assegurar melhores condições de vida para as futuras gerações.	1	2	
Geométrica	Veículo possui sua geometria inspirada na Bionica, o que o torna mais seguro, eficiente em termos de aerodinâmica, e com aparência natural.	1	2	
Antropológica	O produto visa permitir uma melhor qualidade de vida, tanto aos usuários, quanto ao restante da população, pela diminuição da poluição.	1	2	
Psicológica	A utilização desse tipo de veículo sugere ao status do usuário, o estilo de vida de uma pessoa consciente ambientalmente, o que traz satisfação e sensação de bem estar ao usuário.	1		
Ergonômica	Veículo com posição de pilotagem confortável e ajustes de uso para adequação aos usuários que se posiciona inclinado.	1		
Mercadológica	O desenvolvimento desse projeto, vem de encontro às exigências do governo correspondentes à responsabilidade pelo cuidado ambiental, e com o consumo exagerado de combustível, o que torna o produto adequado às necessidades atuais do mercado.	1		

A análise feita envolve a consideração de aspectos ecológicos, econômicos, filosóficos, antropológicos, mercadológicos, ergonômicos, psicológicos, tecnológicos e geométricos, levando à estruturação do problema. A partir da clara definição do problema, foi realizado o estudo da viabilidade técnica, e definição dos recursos necessários para implementação do projeto. O primeiro procedimento realizado foi a digitalização tridimensional da superfície do Límulus no museu de Paleontologia da UFRGS, onde foi disponibilizado um espécime do mesmo.

Segundo Kindlein (2005), uma maneira de se começar a análise do meio ambiente parte da realização de uma análise estrutural, funcional e analogia formal para posterior utilização no projeto em questão. Neste estudo, foi realizada uma analogia comparativa física e funcional entre um ser vivo da natureza e o miniveículo de três rodas. A geometria do Límulus, que é o espécime em questão, está de acordo com a configuração do veículo desejado, que terá duas rodas na frente e uma roda na traseira, o que o torna maior na frente do que na traseira.

A Figura 37 abaixo demonstra a semelhança formal entre o Límulus e o miniveículo, objeto desse estudo:

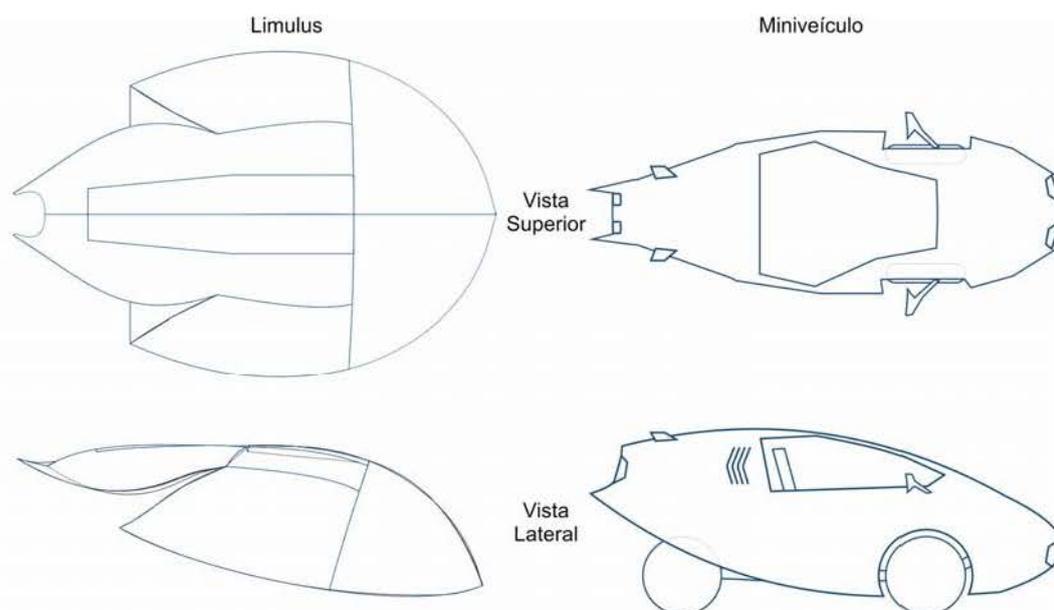


Figura 37: semelhança formal entre Límulus e miniveículo

Fonte: autor

3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL

Bonsiepe destaca importância na observação separada das partes para sua análise individual: “Serve para reconhecer e compreender tipos e números dos componentes e subsistema, princípios de montagens, tipologia de uniões e tipo de carcaça de um produto.” (BONSIEPE, 1984, p.38) Assim buscou-se a listagem e a indicação esquemática dos elementos que compõe a parte externa.

A forma natural é determinada pela anatomia do corpo que é gerada pelas funções atribuídas a cada órgão e podem ser avaliadas conforme padrões estabelecidos da amostra avaliada. Volumes, curvas, texturas, cores, mecanismos de funcionamento, e outras questões podem ser classificadas e descritos individualmente, conforme a Figura 38 que representa a análise estrutural do *Límulus*:

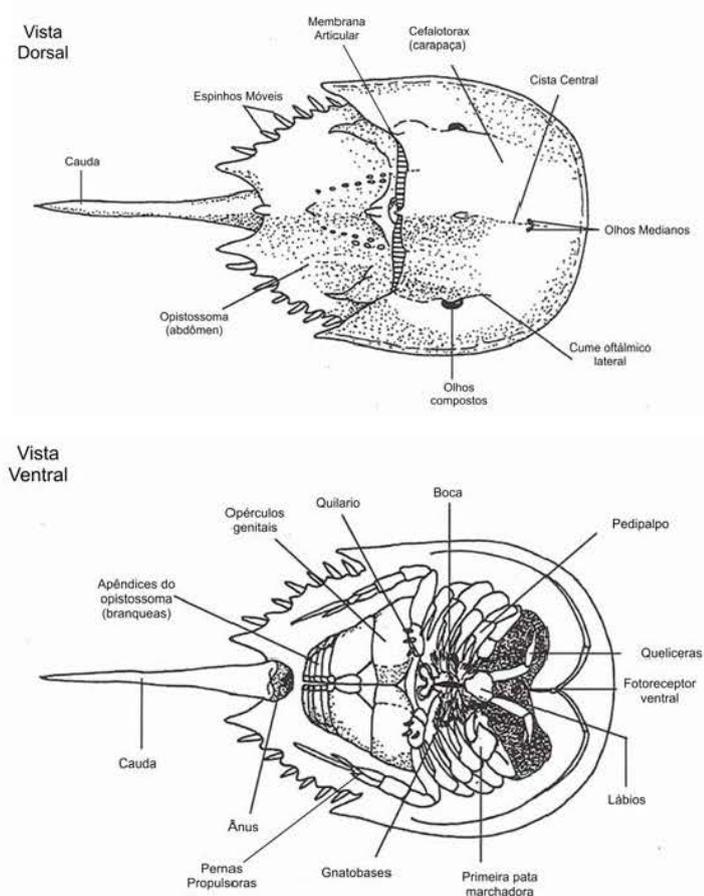


Figura 38: análise estrutural do *Límulus*
Fonte: UNIVERSIDADE DO ARIZONA, 2012

Da mesma maneira, foi elaborada a análise estrutural do miniveículo, para que posteriormente possam ser feitas comparações e analogias. Abaixo pode ser visualizada a representação gráfica da análise estrutural de um miniveículo (Figura 39):

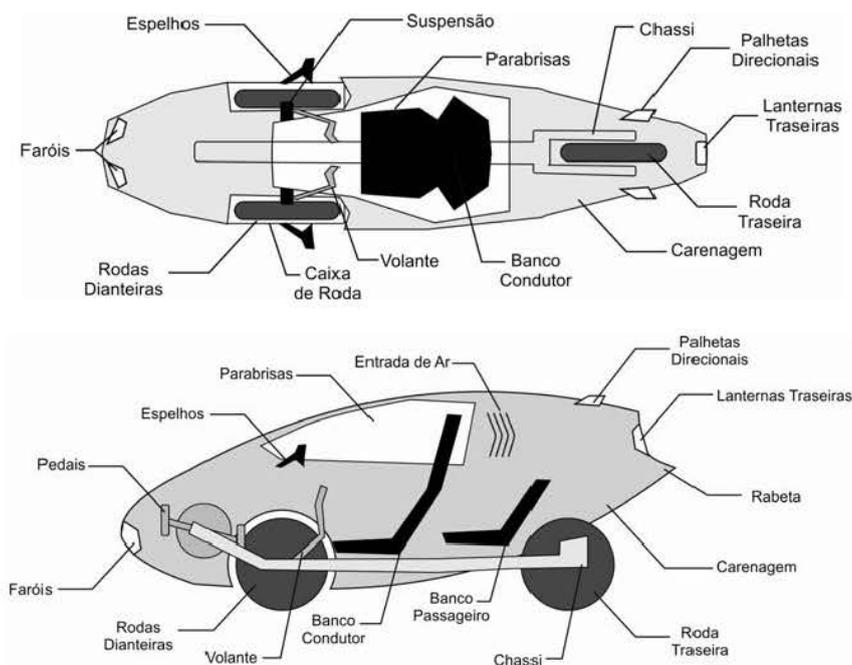


Figura 39: análise estrutural do miniveículo

Fonte: autor

3.3 ANÁLISE FUNCIONAL

O objetivo desta etapa: “Serve para reconhecer e compreender as características de uso do produto incluindo aspectos ergonômicos (macro análise), e as funções técnico-físicas de cada componente ou subsistema do produto (micro análise)” (Bonsiepe, 1984, p.42).

As características formais dos elementos corporais são correlacionadas às suas funções. Isso por que a evolução acaba determinando a forma, através da seleção natural das espécies onde os seres de melhor adaptação sobrevivem por mais tempo da ação dos predadores e assim transmitem suas características genéticas para as gerações futuras, conforme a teoria da evolução das espécies de Charles Darwin. Cada ser vivo apresenta uma tarefa na organização da cadeia

natural do ambiente onde vive. Graças à evolução, há inúmeras variedades de formas naturais no nosso mundo. Todos os elementos e a estruturação deles são absolutamente necessários, mesmo nas formas mais complexas. Da mesma maneira, cada elemento, ou organismo do corpo tem uma atribuição a cumprir. A partir dessas características, é possível estabelecer diferentes funções para cada organismo e realizar um comparativo de maneira análoga aos componentes do miniveículo, conforme a Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 – Analogias funcionais Límulus X Miniveículo - Fonte: autor

ESTRUTURA		FUNÇÃO
Límulus	Miniveículo	
Cefalotorax (exoesqueleto)	Carenagem	Proteção
Olhos Medianos	Faróis	Sensoriamento / projeção de luz
Olhos compostos	Parabrisas	Visualização
Queliceras	Volante	Guia
Primeira pata marchadora	Rodas Dianteiras	Locomoção / apoio
Opistossoma (abdômen)	Rabeta	Hidro/aerodinâmica
Apêndices do opistossoma (branqueas)	Entradas de ar	Respiração
Pernas Propulsoras	Roda Traseira	Tração
Espinhas Móveis	Palhetas Direcionais	Controle Fluxo Flúidos
Gnatobases	Suspensão	Articulação Movimento
Cauda	Aerofólio/Aba Gurney	Condução Fluido

A segunda etapa de acordo com a metodologia de Kindlein (2005) consiste na coleta das amostras. O trabalho de campo é uma fase prática da pesquisa, que envolve procurar as amostras na natureza e o pesquisador deve ter se preparado previamente com conhecimento do assunto. Para isso, deve estar munido dos equipamentos adequados à coleta de informações necessárias.

Para coleta da amostra, o *Límulus*, concedido pelo Museu de Paleontologia da UFRGS, foi posicionado sobre uma bancada giratória, e através do Scanner Móvel 3D foi capturada a superfície de maneira virtual. Para digitalização tridimensional, foi utilizado o Scanner Vivid 9i Konica Minolta 3D do Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS (Figura 40). A capacidade desta morfologia em trazer respostas interessantes para aplicação em produto com potencial aerodinâmico foi verificada posteriormente.



Figura 40: scanner Vivid 9i Konica Minolta

Fonte: LdSM

A partir da obtenção da superfície digitalizada através do equipamento de laser de varredura, foram geradas inúmeras superfícies registradas de ângulos diferentes. Após essa etapa, elas foram tratadas no software Geomagic Stúdio 10, conforme mostra a Figura 41, de maneira a unificá-las a partir da sobreposição de camadas e união dos pontos em comum, como pode ser visto na Figura 42.

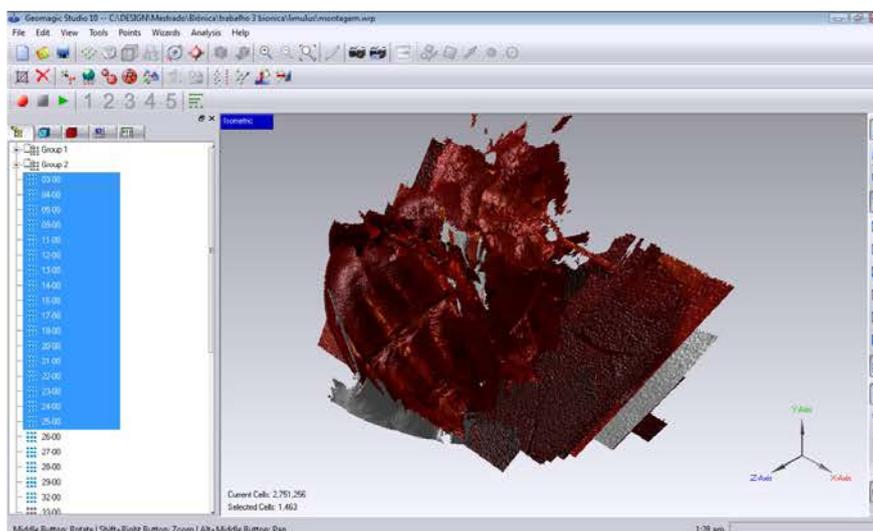


Figura 41: Geomagic Stúdio 10

Fonte: autor

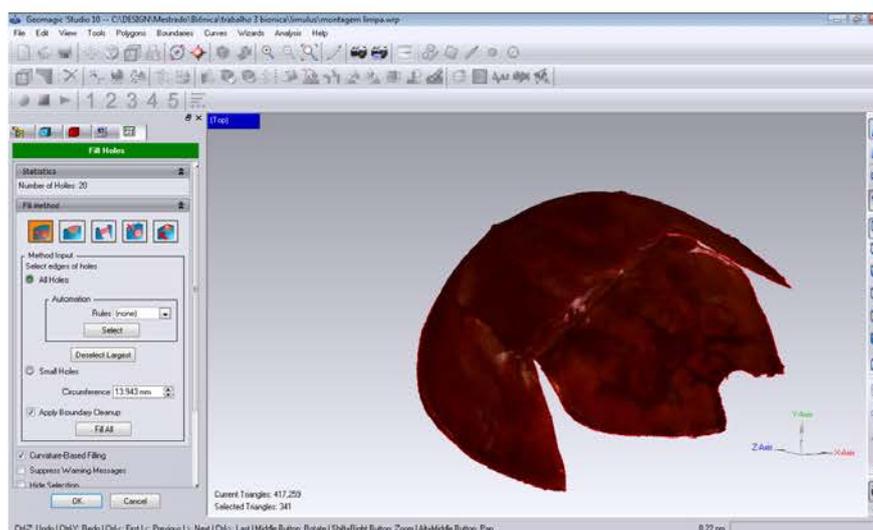


Figura 42: superfície Límulus após união das camadas

Fonte: autor

Após a obtenção da superfície através do scanner móvel, foi reproduzida um modelo físico em escala reduzida para que sejam realizados futuros testes físicos em túnel de vento. Para isso, utilizou-se o software ArtCAM Pro (Figura 43), para obtenção do formato da cavidade do molde que foi gerada a partir do resultado da digitalização e posterior produção de um molde de gesso produzido para produção de uma réplica em fibra de vidro.

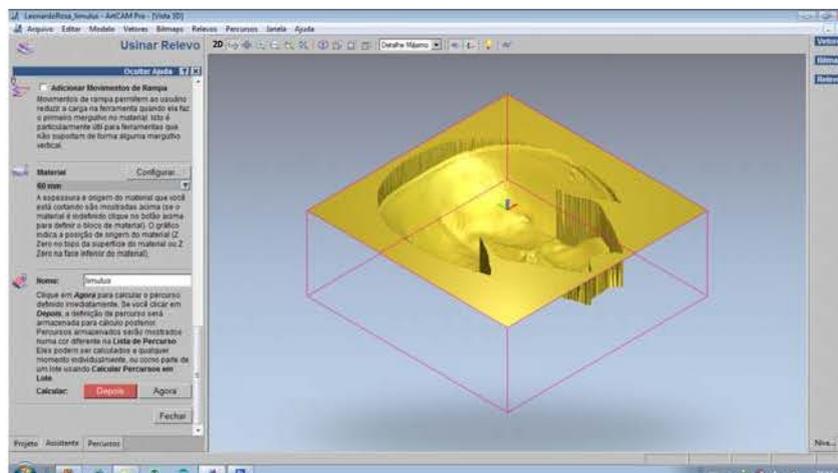


Figura 43 - ArtCAM Pro

Fonte: autor

O software é responsável pela determinação do caminho a ser seguido pela fresa de usinagem que vai subtrair material para gerar a cavidade da forma, como mostra a Figura 44.

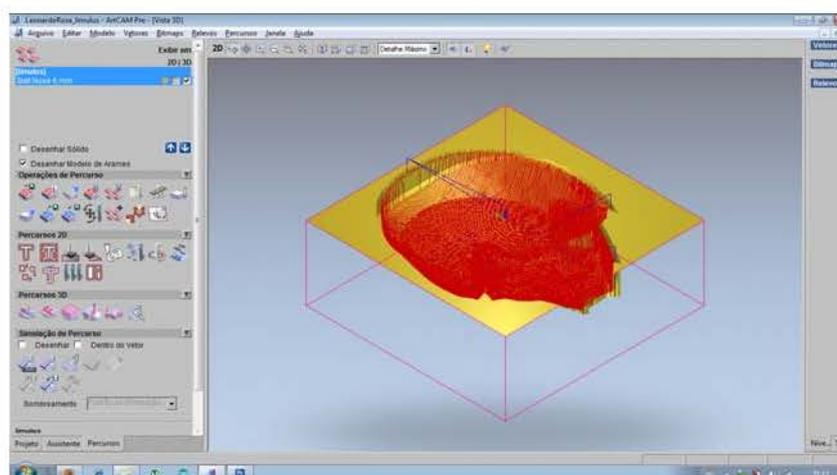


Figura 44: desenho do caminho a ser percorrido pela fresa de usinagem

Fonte: autor

Após a etapa de desenho e programação da usinagem, foi produzido um bloco de gesso para servir de molde, onde foi usinada a cavidade com uma fresa mecanizada por computador. O processo de produção, secagem, usinagem, preparação da forma e extração do modelo até a obtenção do modelo do Límulus em fibra de vidro pode ser visto na sequência das Figuras 45-48.



água

750ml água/kg de gesso

Figura 45: produção de bloco de gesso

Fonte: autor



Figura 46: usinagem do bloco de gesso com equipamento de CNC do LDSM

Fonte: autor



Figura 47: extração do corpo laminado em fibra de vidro Fonte: autor

Fonte: autor



Figura 48: modelo do Límulus reproduzido em Fibra de vidro

Fonte: autor

Com a aplicação desse experimento, foi comprovada a capacidade de reprodução da superfície de maneira eficiente e fiel à forma original, o que possibilitará testes futuros em túnel de vento com escalas reduzidas utilizando o modelo construído.

3.4 PARAMETRIZAÇÃO

A partir da observação a olho nu da amostra e da reprodução em fibra de vidro, a fim de identificar os pormenores da amostra e as características relevantes para o estudo, iniciou-se a etapa da parametrização onde foram realizados desenhos a mão, conforme a Figura 49.

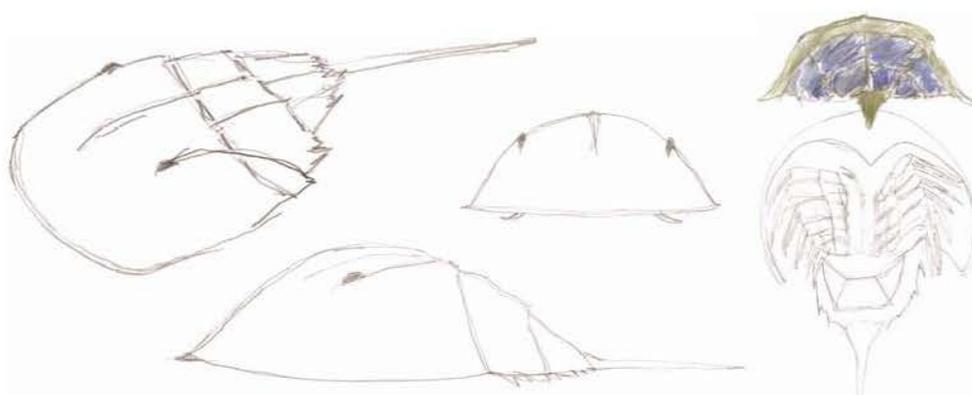


Figura 49: desenhos de observação feitos a mão livre

Fonte: autor

Outro estudo da forma realizado foi o desenho do Arquétipo do Límulus, que permitiu uma interação entre a idéia criativa e as informações adquiridas (Figura 50).

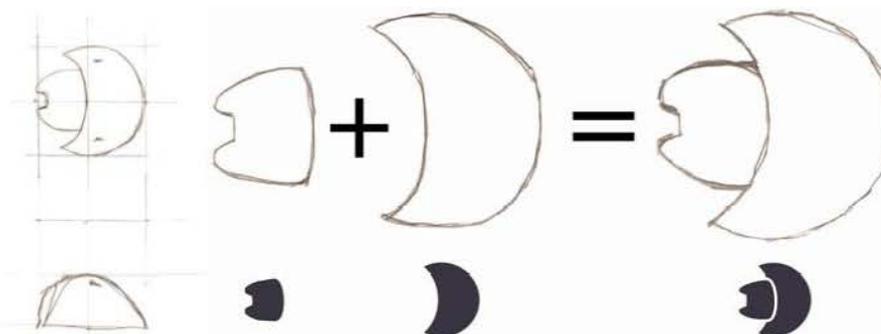


Figura 50: geometrização esboço dos elementos principais do Arquétipo

Fonte: autor

Também desenhos computacionais que foram elaborados a fim de simplificar a geometria deixando apenas o que é relevante ao estudo. Na modelagem tridimensional, foram utilizadas as vistas ortogonais originais (Figuras 51 e 52), que serviram de base para modelagem da nova geometria e manteve as mesmas proporções, porém simplificada através de linhas contínuas (Figura 53). Isso possibilitou a aplicação de testes posteriores de maneira dinâmica, avaliando apenas os aspectos que poderiam interferir no resultado do estudo e eliminando detalhes desprezíveis advindos da influência do habitat sobre a amostra utilizada.

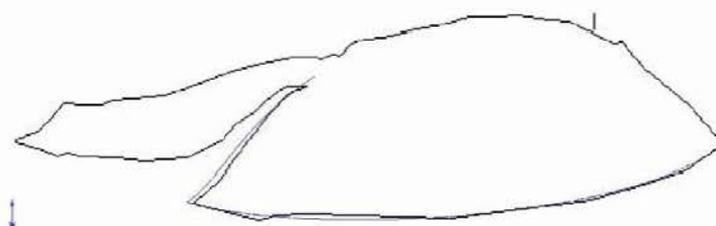


Figura 51: perfil Vista Lateral do Límulus gerada a partir da imagem tridimensional

Fonte: autor

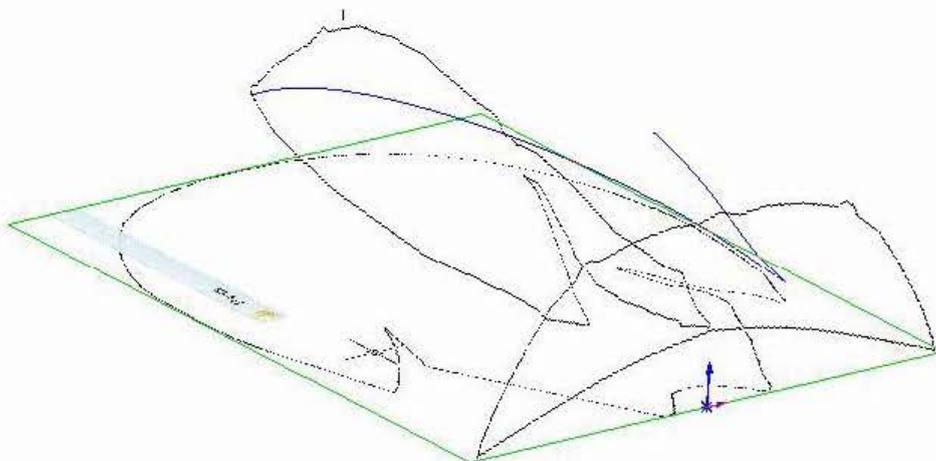


Figura 52: sobreposição das vistas ortogonais para geração de superfície

Fonte: autor

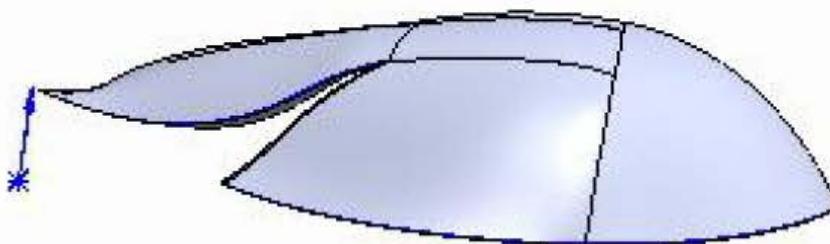


Figura 53: modelagem 3D obtida a partir das linhas ortogonais simplificadas do Límulus
Solidworks 2007 - Fonte: autor

▣

▣

3.5 ANALOGIA ENTRE O SISTEMA NATURAL E O PRODUTO

Os aspectos funcionais, morfológicos e estruturais desejados foram encontrados na amostra, e serviram como guia para o desenvolvimento do produto, porém não devem ser simplesmente copiados a fim de replicá-los a um produto. A figura 54 demonstra que sua aplicabilidade é possível, desde que seja feita a adequação da forma.

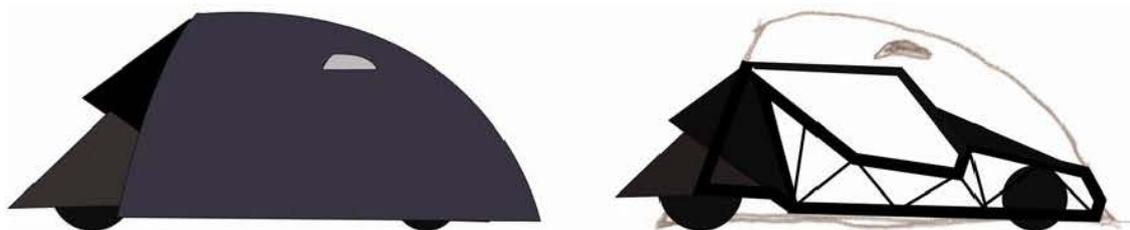


Figura 54: analogia ao formato de carenagem

Fonte: autor

A partir das informações adquiridas nas etapas anteriores, houve elementos suficientes para se iniciar o estudo sobre a possibilidade de aplicação de uma analogia entre a amostra examinada, e a idéia concebida do produto e avaliação da sua viabilidade.

▣

3.6 ANÁLISE ERGONÔMICA

De acordo com Larica (2003) após a definição do *package*, cujas posições dos principais elementos são arranjados, se estabelece as medidas para o motorista acessar aos comandos, pela determinação da altura do assoalho em relação ao solo em função do diâmetro externo da roda e distância entre eixos. Assim, os fatores ergonômicos da parte interna implicam na configuração externa. É importante avaliar os fatores que possam levar um indivíduo a uma sub ou sobrecarga de trabalho (física ou cognitiva) e suas conseqüentes repercussões sobre a saúde do usuário, estabelecendo quais são os pontos críticos que devem ser observados. Archer (1974) descreve a questão do desenho para a indústria abordando três aspectos: desenho para função; desenho para produção e desenho para mercado. No aspecto de desenho para função o designer busca reduzir ao mínimo o consumo de energia, preservando a realização das necessidades buscadas pelo usuário. Grandjean (1998, p. 39) considera que “posturas naturais do corpo - portanto, posições corretas do tronco, braços e pernas, que não exijam trabalho estático - e movimentos naturais, são condições para um trabalho eficiente.” Portanto é imprescindível a adaptação do habitáculo e seus componentes às medidas do corpo humano e suas variações de estatura para motorista e passageiro, conforme mostra a Figura 55. Regulagens e variações de posições são sempre ótimas alternativas para

adequação do produto ao usuário. Do ponto de vista ergonômico, portanto, a adaptação individual de medidas para o uso foi aplicada considerando ajustes para condutores com estatura máxima até 1,92m e do passageiro até 1,75m de altura, e estatura mínima de ambos 1,476m, apresentando uma mulher de menor estatura com percentil 1, já o homem de extremo oposto com percentil 99. Desta forma abrange de forma satisfatória para o usuário maior, entendendo que para a menor é possível adaptações com regulagem de posição do assento.

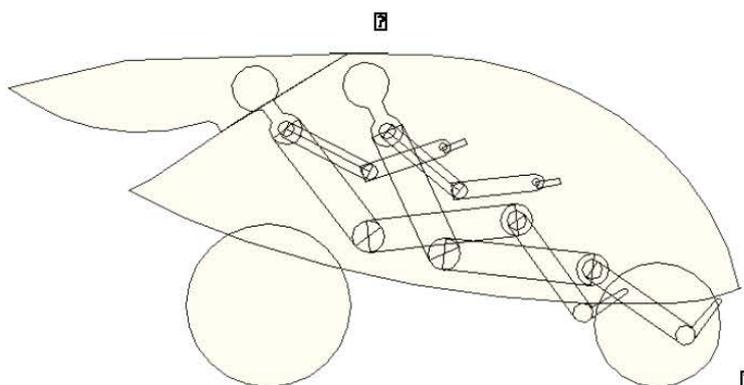


Figura 55: estudo de viabilidade de adaptação do formato à ergonomia de dois usuários

Fonte: autor

☐

A aplicação da forma Biônica ao projeto foi experimentada com simulação virtual no software Autocad 2004 através da geometrização do corpo humano e testes do posicionamento desejado para uso de um veículo onde a disposição do corpo é reclinada. Verificou-se a viabilidade do uso da forma Biônica como carenamento do miniveículo, ajustando-o em nova escala e mudança de ângulo em relação ao solo. Também foi possível diminuir a largura da carenagem para aproximação ao corpo humano, conforme a Figura 56.

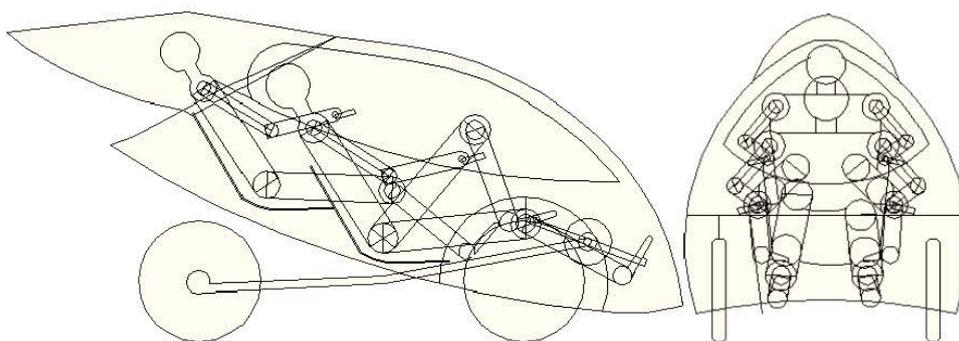


Figura 56: estudo ergonômico de adaptação da forma ao uso

Fonte: autor

3.7 GERAÇÃO SISTEMÁTICA DE ALTERNATIVAS

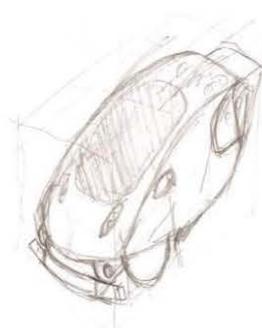
Gui Bonsiepe (1984) constata que a “criação sistemática de variantes serve para descobrir o universo de possíveis soluções identificando princípios básicos e combinando-os.”(Bonsiepe, 1984).

A partir de um exercício de estímulo à criatividade com desenho contra o tempo (BARBOSA, 2004), surgiram alternativas que contribuíram na elaboração de estudos da forma verificando diferentes possibilidades de aplicação do Límulus a uma carenagem automotiva, conforme Figura 57.

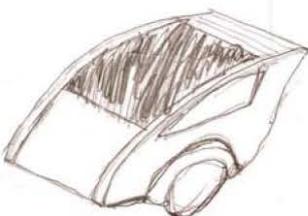
1ª alternativa: adaptação do Límulus ao uso de rodas



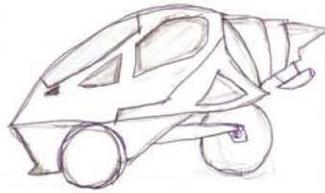
2ª alternativa: ajuste da largura e simulação de faróis, pára-brisas e pára-choques



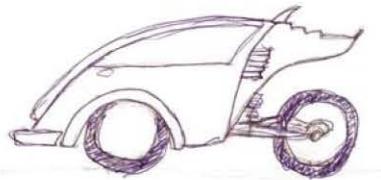
3ª alternativa: perfil lateral do Límulus, e faces laterais planas



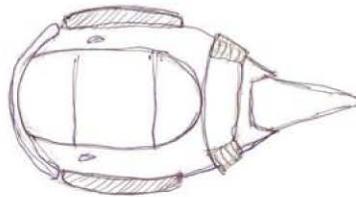
4ª alternativa: utilização de rabetas aerodinâmicas e acessórios



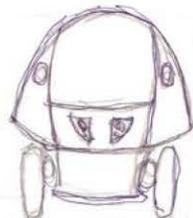
5ª alternativa: utilização de acessórios aerodinâmicos e rebaixe da carenagem em relação ao chassi



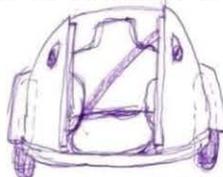
6ª alternativa: vista superior com entradas de ar laterais e alargadores de pára-lamas



7ª alternativa: vista frontal com utilização de faróis e espelhos



8ª alternativa: carenagem rebaixada em relação ao chassi e com abertura frontal



9ª alternativa: carenagem com forma do limulus e largura diminuída



Figura 57: geração de alternativas esboçadas a mão

Fonte: autor

A partir da geração de alternativas feitas a mão, foram feitas propostas de desenhos em 3D para estudos preliminares de obtenção da forma final (Figura 58 - 65).

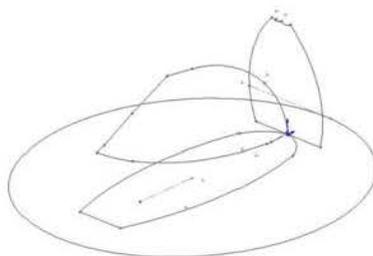


Figura 58 - Posicionamento das vistas ortogonais do modelo

Fonte: autor

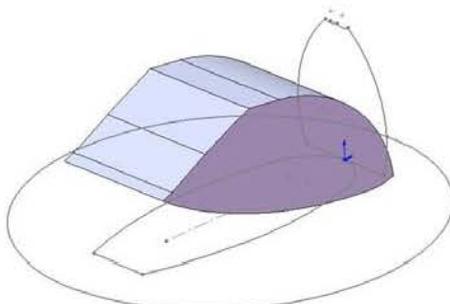
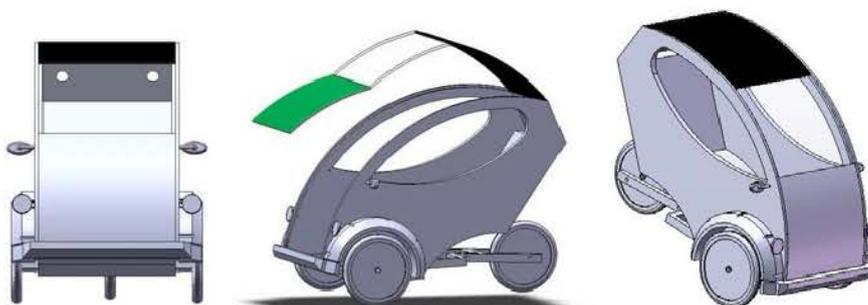


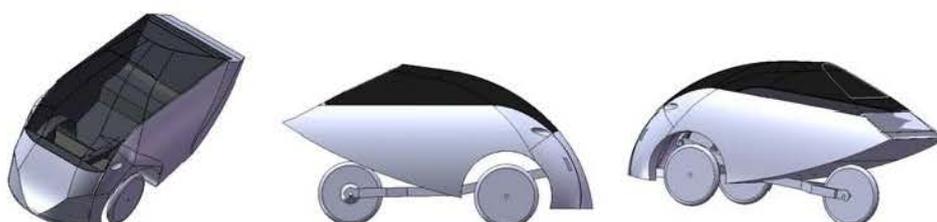
Figura 59: modelagem tridimensional a partir das vistas ortogonais

Fonte: autor

1ª alternativa: gerada a partir de plano lateral do Límulus considerando as laterais planas



2ª alternativa: gerada a partir das vistas lateral e frontal do Límulus considerando as laterais curvas



3ª alternativa: gerada a partir das vistas lateral, frontal e superior do Límulus com largura reduzida para 1m adequando às restrições do projeto

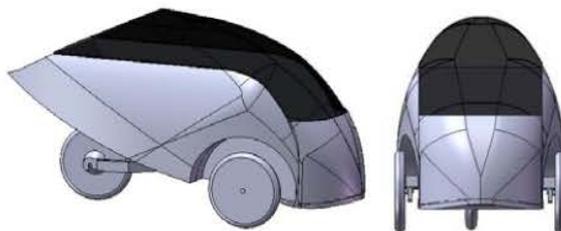


Figura 60: geração de alternativas – modelagem tridimensional

Fonte: autor

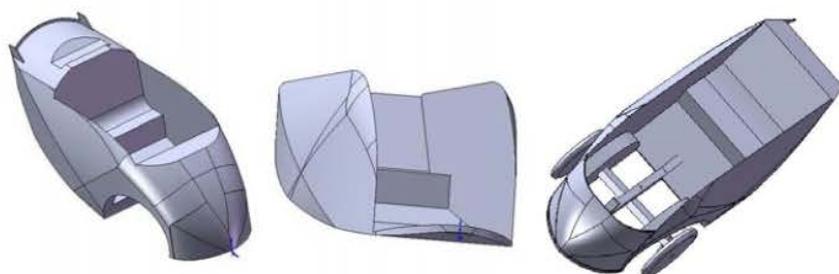


Figura 61: estudo de formas para abertura da porta frontal e acomodação dos usuários

Fonte: autor

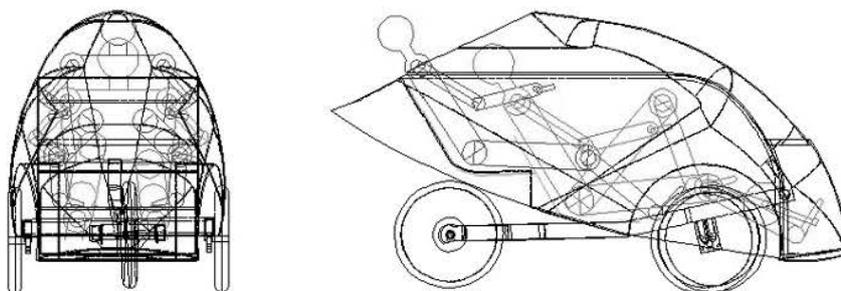


Figura 62: verificação compatibilidade da carenagem gerada com o estudo ergonômico

Fonte: autor

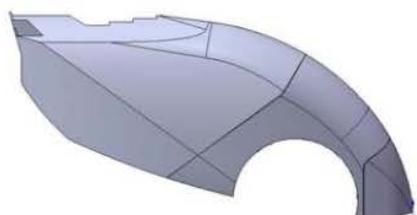


Figura 63: vista lateral do modelo escolhido com posicionamento das caixas de roda

Fonte: autor

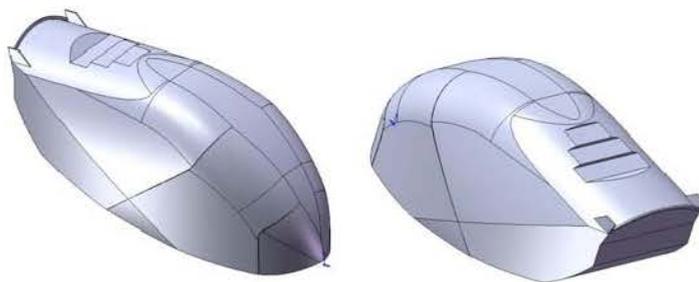


Figura 64: vistas em perspectiva da alternativa escolhida
Fonte: autor

A partir dos estudos vistos anteriormente, foi projetada uma carenagem apresentada na figura 65 que contempla a teoria da aerodinâmica com fatores que contribuem para diminuição da força de arraste. Suas dimensões foram adequadas à ergonomia preservando o conforto dos usuários assim como uso de entradas de ar para melhoria do conforto térmico. Além disso, foi proposta sinalização de acordo com a legislação de trânsito e entradas de ar lateral para melhoria da circulação de ar na parte interna.

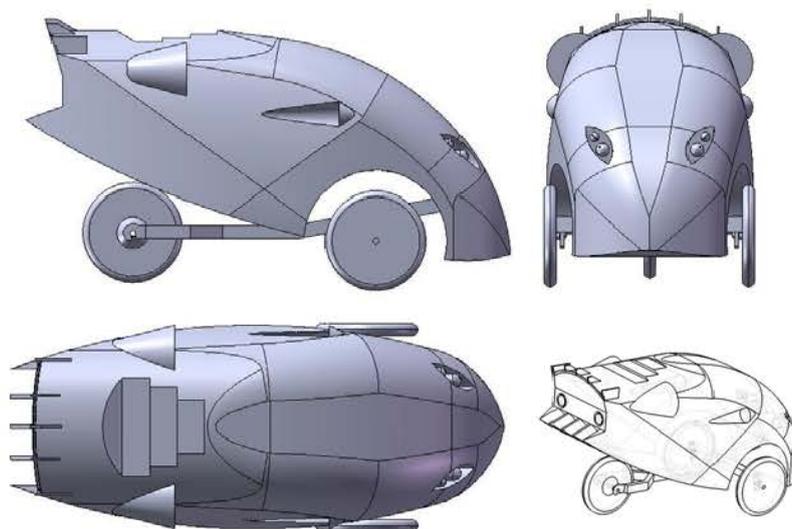


Figura 65: desenvolvimento da carenagem com aplicação de fatores de eficiência aerodinâmica, iluminação, entradas de ar e espelhos retrovisores

Fonte: autor

3.8 DESENVOLVIMENTO DE CARENAGEM PARA TESTAR A TÉCNICA DE TECIDO COM RESINA

A fim de testar preliminarmente uma técnica de construção de protótipos, foi construída uma carenagem para o miniveículo de competição desenvolvido pela equipe Galgo de estudantes de engenharia da UFRGS. A carenagem foi elaborada sobre o chassi projetado para competição de eficiência energética, e foi construída com uma estrutura de varas de bambu amarradas. Sobre ela foi aplicado tecido flexível para obtenção da forma previamente projetada. Após o esticamento do tecido, foi aplicada resina poliéster catalisada para que o mesmo se tornasse rígido conforme mostra figura 66.



Figura 66: teste aplicação de tecido + resina sobre estrutura

Fonte: autor

O teste serviu para comprovar a viabilidade técnica de formação de superfície a partir de uma estrutura com cobertura em tecido e aplicação de resina. No entanto verificou-se que o uso de tecido flexível não obteve uma boa rigidez como se esperava. Dessa maneira identificou-se que a substituição do tecido flexível por tecido de fibra de vidro tem melhor desempenho, visto que ao aglutinar-se com resina, a mistura se torna rígida o suficiente para o fim a que se destina.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Para aplicação dos testes de análise de elementos finitos e demonstração da técnica, foi utilizado o software Solid Works 2007 que possui uma ferramenta de simulação chamada COSMOSXpress, e um assistente com instruções para demonstrar como o produto se comportará em algumas condições de esforços aplicados sobre a o modelo. Através dele, são determinadas as condições de contorno estática: as restrições ao movimento e os esforços solicitantes. Para o modelo proposto, foi considerada uma restrição de movimento aplicada no assoalho onde será fixado o chassi e esforços de 1000N aplicados na lateral e na parte frontal da carenagem. O material escolhido para simulação foi o Aço 1020 com espessura de 5mm, por apresentar uma boa deformação elástica, possibilitando assim uma visualização dos pontos críticos do modelo, caso fosse exposto a uma situação semelhante na vida real, conforme figura 67.

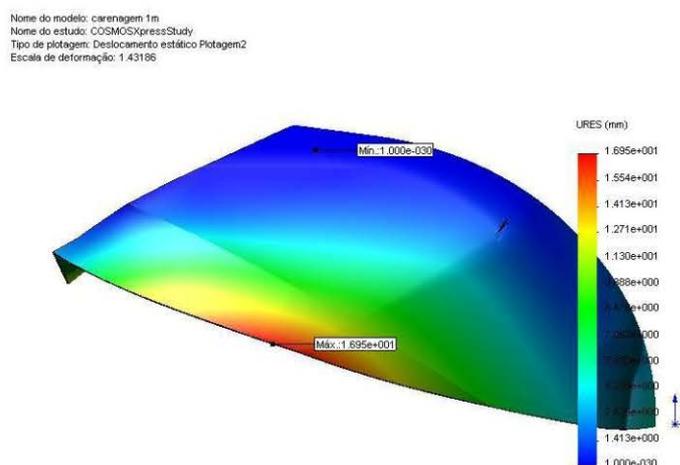


Figura 67: análise de elementos finitos – teste de deformação

Fonte: autor

Os testes de mecânica dos fluidos computacional foram realizados no CESUP/UFRGS (Centro Nacional de Supercomputação) no cluster Sun Fire, com performance teórica de 12,94 Tflops cuja capacidade de processamento dos dados é superior aos computadores convencionais. O software utilizado foi o CFX do

pacote ANSYS que oferece vários softwares para análise pelo método dos elementos finitos, utilizado em praticamente todos os campos da engenharia devido à possibilidade de uso dos recursos avançados. Entre eles, está a análise dinâmica computacional de fluídos, demonstradas na Figura 68.

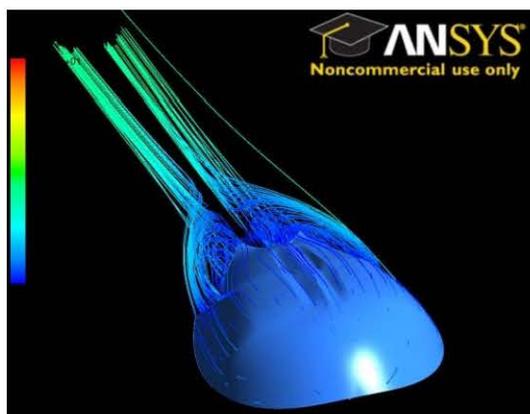


Figura 68: testes de CFD aplicados pelo software ANSYS para obtenção dos resultados preliminares para posterior comparação às formas desenvolvidas

Fonte: autor

As variáveis típicas de interesse são velocidades, pressões, temperaturas e coeficientes superficiais (ANSYS Advantage, 2008). Para sua determinação, é necessária a obtenção da malha que é formada por elementos de forma piramidal ou cubos e representam o volume finito discretizado onde os nós são os vértices desses elementos que conectam um ao outro e formam a geometria que pode ser mais ou menos detalhada (Figura 69).

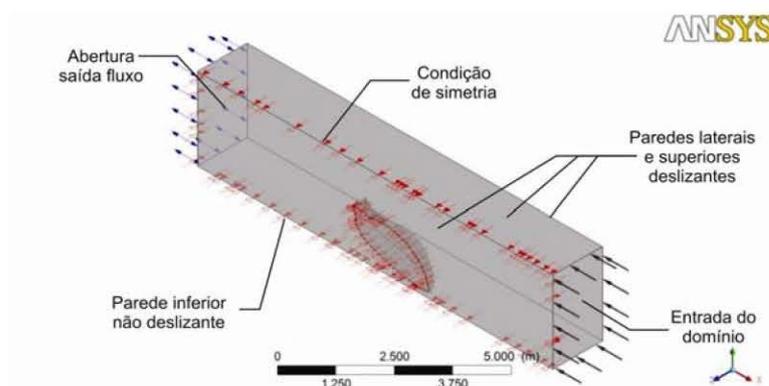


Figura 69: demonstração de como foram obtidos resultados de CFD

Fonte: autor

Quanto maior a quantidade de elementos formadores da malha, mais preciso é o resultado do cálculo, porém torna o processamento computacional cada vez mais lento - conforme se aumenta a quantidade de elementos na malha, aumenta a quantidade de equações. Foi criada uma malha tetraédrica no software comercial ANSYS ICEM versão 13, conforme Figura 70, com 1.820.378 elementos, e a simulação foi feita posteriormente no software comercial ANSYS CFX versão 5.5. As condições iniciais e de contorno foram estabelecidas de acordo com os valores reais do processo, de um piso não escorregadio, considerando como solo e uma velocidade de fluxo de 50km/h (13,89m/s). É um numero elevado de elementos que gera uma taxa de convergência dos resultados maior, assim como apontado pelo manual do software (ANSYS – 2008).

Figura 70: construção da Malha - seção central 2D no plano de simetria

Fonte: autor

A partir da obtenção da Malha, foi possível gerar simulações computacionais que demonstram o comportamento do escoamento de ar sobre a carenagem projetada a partir da forma Biônica. Na Figura 62 foi comparada a velocidade de passagem do ar em três formas semelhantes, mas com alterações subseqüentes a partir da primeira carenagem obtida. A segunda foi realizada alteração em sua parte inferior, com o acréscimo de concavidades objetivando o surgimento de micro-vórtices para sucção do ar e retardar o descolamento da camada limite inferior. No

entanto, verificou-se que pouco representou no resultado final essa característica. A terceira alteração foi o acréscimo da, na parte posterior da carenagem, o que trouxe um excelente resultado, diminuindo a zona de turbulência na parte posterior da carenagem do veículo.

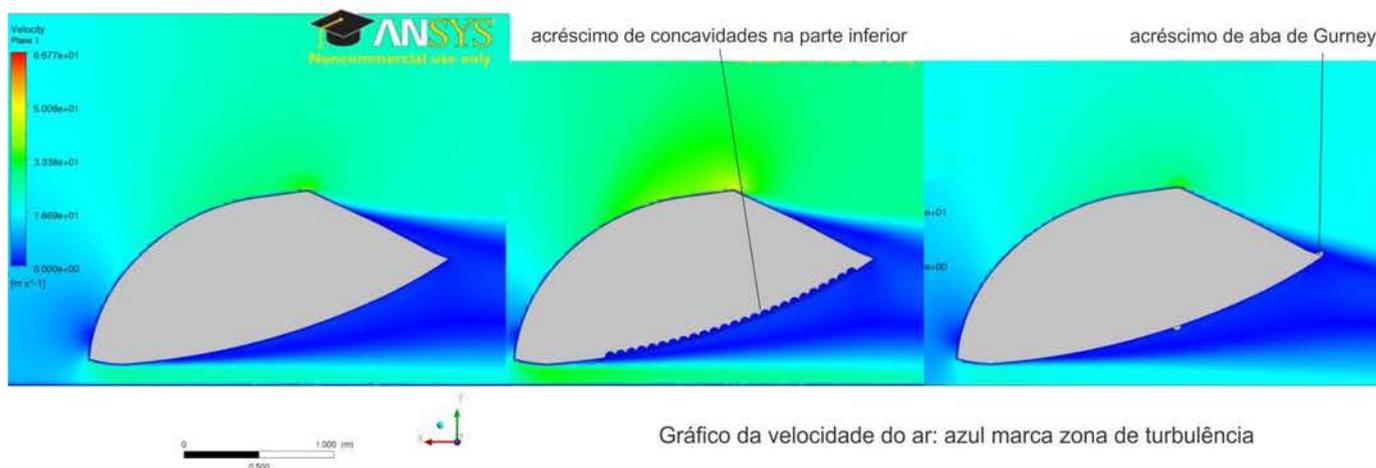


Figura 71: gráfico que analisa velocidade do fluxo de ar demonstra diminuição da esteira viscosa com utilização de recursos aerodinâmicos

Fonte: autor

Após foi acrescentada uma rabeta (Figura 72) para que se mantivesse a diminuição da seção da traseira de maneira suave, conforme o princípio de Kamm, e isso acarretou numa diminuição da região turbulenta na parte posterior do veículo, o que sugere uma diminuição do arraste aerodinâmico.

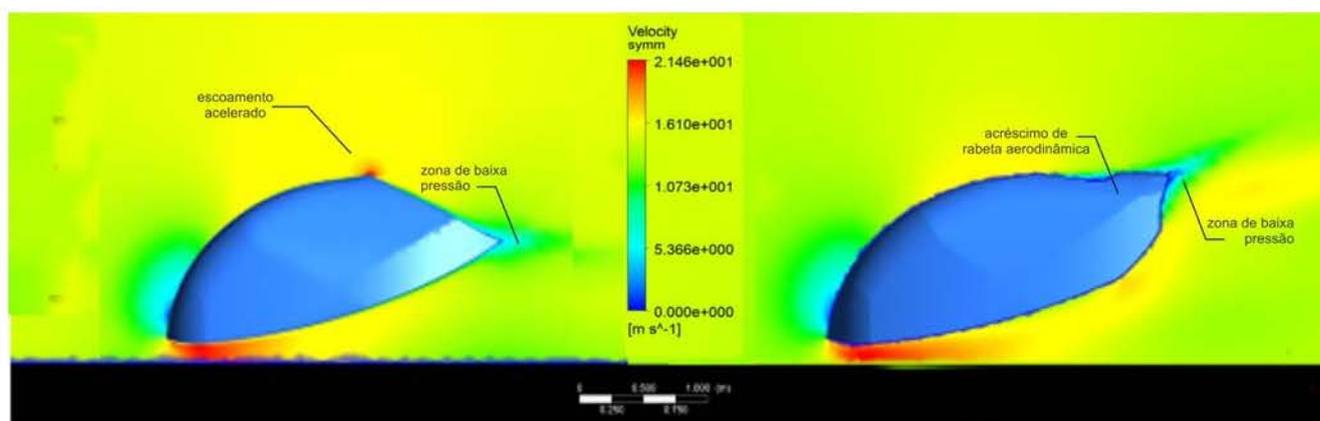


Figura 72: comparativo dos resultados a partir do acréscimo de rabeta aerodinâmica objetivando uma separação mais suave do fluxo de ar

Fonte: autor

Foram comparados também os comportamentos da velocidade de passagem do ar na carenagem e o caminho por ele percorrido, onde foi possível observar o formato da esteira viscosa gerada por seu formato, conforme Figura 73.

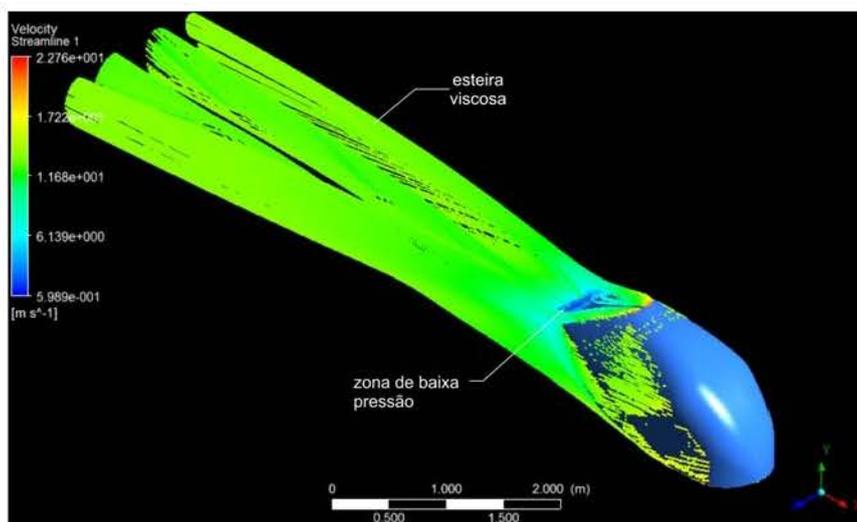


Figura 73: geometria sem rabeta nem acessórios aerodinâmicos - teste CFD

Fonte: autor

A partir disso, foram projetados novos recursos, como acréscimo de rabeta com uso de ranhuras transversais na parte superior, acréscimo de palhetas direcionais com objetivo de estabilizar o escoamento reduzindo oscilações da transição entre o escoamento laminar e turbilhonamento, conforme Figura 74.

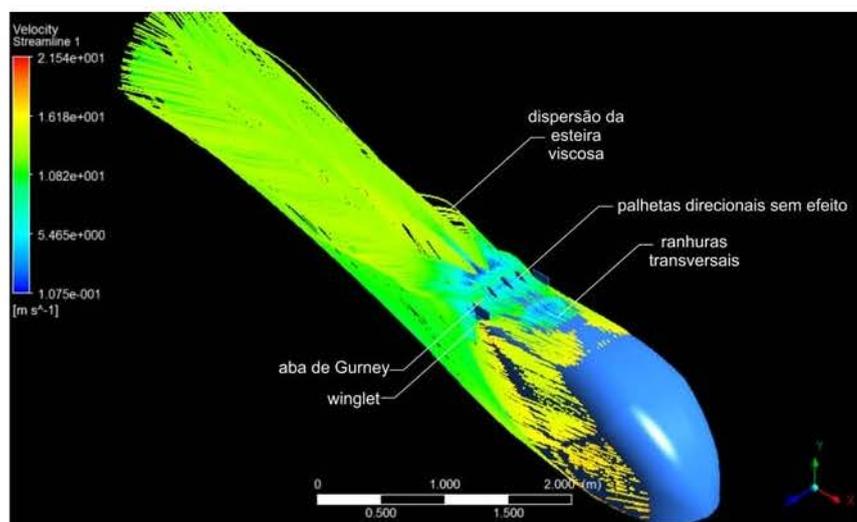


Figura 74: geometria com ranhuras transversais, palhetas direcionais que poderiam ser aplicadas mais a frente induzindo a diminuição de mudanças de direção do fluxo de ar

Fonte: autor

Foi testado na Figura 75, o uso de winglets nas extremidades e aba de Gurney na parte posterior, que bloqueiam escoamento da região de alta pressão para baixa pressão reduzindo o vórtice de fuga, e assim diminuindo o surgimento de turbilhonamento de ar.

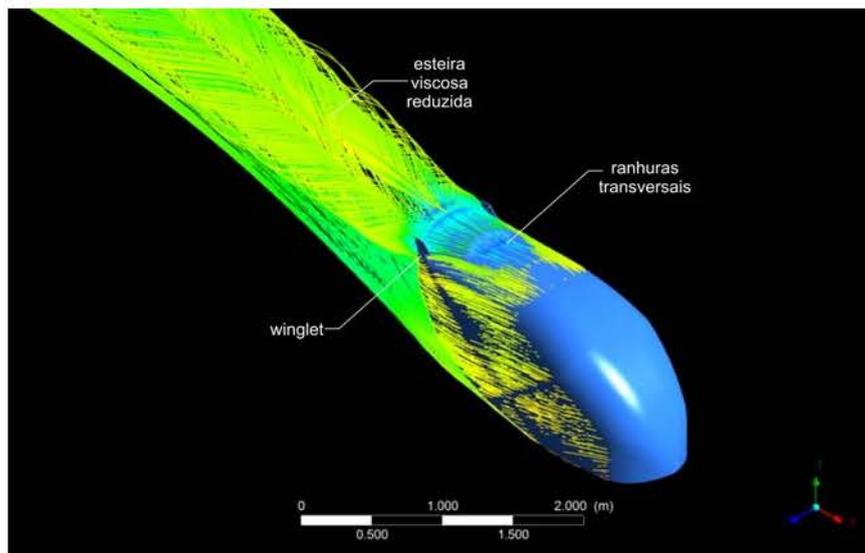


Figura 75: modelo Escolhido com menor formação de esteira - Geometria com ranhuras transversais, aba de Gurney e winglet

Fonte: autor

4.2 ETAPAS DA PROTOTIPAGEM

Após os testes de análise de elementos finitos, foi possível definir a forma desejada a partir do modelo escolhido para que a carenagem tenha um bom desempenho e redução do arraste aerodinâmico. Dessa maneira, foi construído o protótipo físico em escala real, para realização de testes e transposição da forma virtual, para a forma física. Para obtê-lo, foi feito um painel em Isofoam onde a geometria foi transposta através de medidas obtidas em cortes do desenho computacional e assim marcaram-se linhas que serviram para cortar o perfil da vista lateral com estilete, conforme Figura 76.



Figura 76: construção do perfil central escala 1:1 em Isofoam

Fonte: autor

Para o recorte da vista superior, foi repetido o processo anterior, que posteriormente foi colado na base da vista lateral. Posteriormente a isso, foi obtida a curvatura da superfície através de tubos de cobre que reproduziam o desenho de cada seção transversal curvados sobre desenhos individuais impressos em folhas de papel. Os perfis das seções foram dispostos a cada vinte centímetros de afastamento no sentido longitudinal. Para aumentar a rigidez da estrutura, foram feitas amarrações com arame entre os tubos de cobre e assim tornaram a curvatura firme para realização das etapas seguintes conforme Figura 77.



Figura 77: estruturação do aramado para dar a forma desejada

Fonte: autor

Posteriormente, foi aplicado sobre o aramado um tecido de fibra de vidro que foi colado e amarrado para que ficasse esticado sobre a estrutura de maneira a não gerar concavidades em sua superfície. Então foi aplicada resina poliéster sobre o tecido, conforme Figura 69, que após secagem de doze horas, se tornou um material rígido e impermeável.



Figura 78: aplicação de tecido de fibra de vidro sobre a armação metálica

Fonte: autor

Foi aplicada gesso e massa corrida sobre o compósito de fibra de vidro para alisamento da sua superfície a fim de alisar a superfície que posteriormente foi usada como base para execução de pré-forma conforme e protótipo figuras 79-82.



Figura 79: aplicação de gesso para regularização da superfície

Fonte: autor



Figura 80: aplicação de filme plástico e gelcoat para execução da pré-forma

Fonte: autor



Figura 81: após secagem de 24h foi removida pré-forma do modelo em gesso

Fonte: autor



Figura 82: produção do protótipo em casca para recortes da janelas e execução dos detalhes aerodinâmicos finais

Fonte: autor

4.3 AVALIAÇÕES DOS RESULTADOS

4.3.1 Resultados dos testes de elementos finitos de fluidos dinâmicos

Os resultados tridimensionais em regime permanente indicam que as alterações feitas restringem a região turbulenta do fluido em um espaço mais estreito, diminuindo a esteira viscosa e mostram as respostas do escoamento frente a algumas adaptações impostas no veículo. De forma qualitativa, pode-se verificar que o acréscimo de elementos aerodinâmicos, estudados na revisão bibliográfica, podem influenciar de maneira vantajosa na diminuição da força de arraste aerodinâmico. Os fatores que melhor representaram alterações positivas foram o aumento da parte posterior da carenagem através da aplicação de uma rabeta para diminuição da seção de forma suave a não causar o deslocamento da camada limite até o ponto de corte, o acréscimo da aba de Gurney, a existência de ranhuras transversais, e o uso de winglets que servem para separar o escoamento, impedindo a interferência ou migração de fluxos de ar com velocidades diferentes, e assim não gerando turbulências. Também o uso de cantos arredondados nas arestas laterais foi aplicado, mas pouco se observou por não ter sido feito um modelo com cantos vivos para realização do comparativo, no entanto acredita-se que se obteve melhorias em função disso. Apesar dessas características positivas, outros recursos não corresponderam à expectativa de melhoramento esperado, como foi o caso das concavidades para o “efeito bola de golf”, e as palhetas direcionais que deveriam ter sido instaladas mais a frente do veículo, no ponto de transição da camada limite laminar para turbulenta. Assim, serviram de exemplo para demonstrar que estudos matemáticos precisos são importantes para determinação exata da localização a serem utilizados esses recursos.

4.3.2 Resultados da construção do protótipo

A construção do protótipo foi importante para materializar as ideias anteriormente propostas, através da aplicação de metodologias de projeto de

produto e Biônica replicando a forma do ser vivo Límulus a um veículo com eficiência energética. Foi possível registrar as etapas do método sugerido, que produziu o veículo em escala real com utilização de materiais e recursos acessíveis.

5 CONCLUSÕES

A partir da apresentação de novos paradigmas, esse estudo demonstrou como é possível criar produtos eficientes aplicando diferentes técnicas que contribuem para o seu desempenho em termos de diminuição do consumo de energia. Através da fundamentação teórica, foi possível a obtenção de conhecimentos a respeito dos conceitos de Aerodinâmica, Biônica, Tecnologia dos Materiais, Elementos de Junção, Ecodesign, entre outros e dessa forma aplicá-los.

O uso da metodologia no processo criativo foi fundamental para que fosse feita a ligação entre o ser vivo e o escopo desse projeto, que é a carenagem do miniveículo. Dessa forma, foi possível gerar alternativas que reproduzem características da forma do Limulus, que supostamente apresentam fatores que contribuem para perpetuação da espécie.

A obtenção de uma forma natural através da digitalização tridimensional e posterior aplicação da mesma em uma carenagem automotiva, de maneira análoga, foi demonstrada passo a passo. Com o uso de imagens geradas por softwares de design e engenharia, diagramas, fotografias e desenhos a mão livre, foi possível testar as metodologias anteriormente descritas. O desenvolvimento da carenagem do miniveículo, considerando as questões de legislação de trânsito, ergonomia, análise de elementos finitos computacional foram etapas importantes e contribuíram ao processo de criação de maneira consciente para o resultado final, que obteve viabilidade técnica para sua implementação.

As pesquisas e testes aplicados preliminarmente geraram subsídios para o desenvolvimento de uma carenagem que permitiu a aplicação da teoria em um protótipo em escala 1:1. Sua construção possibilitou a descrição de técnicas para moldagem e obtenção da forma física, a partir dos desenhos computacionais, fazendo a transição da teoria para aplicação prática. Confirmou-se assim a viabilidade da execução do projeto, o que possibilita a comparação aos outros veículos apresentados durante a pesquisa sincrônica e diacrônica, bem como diversos outros testes práticos. Assim esse estudo poderá servir de referência ou

guia para futuras pesquisas de designers, engenheiros e outros profissionais que busquem desenvolver projetos sustentáveis aplicadas a carenagens veiculares.

É importante salientar que a ausência de dados numéricos nos resultados das análises e elementos finitos é devida ao objetivo desse trabalho, que é demonstrar de maneira qualitativa resultados que podem influenciar nos melhoramentos da eficiência da carenagem. Também demonstrar a metodologia que possibilita a obtenção dos dados, o que permitiu melhor entendimento de como aplicar a teoria da aerodinâmica em carenagens automotivas, visando a diminuição da força de arraste aerodinâmico e compreensão do comportamento do escoamento ao redor de um veículo. Estudos mais profundos para validar os dados podem ser realizados por profissionais habilitados que possuam competência técnica necessária para obtenção dos mesmos, como é o caso dos engenheiros e físicos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para estudos futuros a análise de teste de impacto (*crashtest*) para verificação da segurança do veículo, bem como testes aerodinâmicos em túnel de vento para validação dos dados obtidos por CFD para dar continuidade ao desenvolvimento da carenagem. Outros aspectos complementares a esse estudo são o desenvolvimento do Powertrain que contempla o chassi, sistema de propulsão, rodas e toda a parte mecânica e também o estudo do conforto térmico do habitáculo, para juntos contemplarem o projeto de um veículo completo apto a andar nas ruas com segurança e eficiência. Por fim, acrescentar ao projeto como um todo uma análise de marketing para colocação do veículo no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGE, M. J.; PAZMINO, A. V. Investigação da biônica como técnica criativa para problemas em design de produtos. Anais do 1º Congresso Nacional de Design "Habitat, Cultura e Design", Bento Gonçalves, RS, 2011.

ALMEIDA, Fernando. Os Desafios da Sustentabilidade – uma ruptura urgente. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2012. Disponível em : <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

ANSYS INC. ANSYS CFX 11.0 ® Manual. 2008.

ARAÚJO, C. R. et al. Thermal properties of commercial and castor oil polyurethane composites with curaua fiber. In: International Symposium on Natural Polymers and Composites, 4, 2002, São Pedro. Anais. São Carlos: USP, p. 547-550, 2002.

ARCHER, L. Bruce. Design Awareness and Planned Creativity in Industry. London : The Design Council, 1974.

BACK, N. et al. Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem. Porto Alegre: Manoele, 2008.

BARBOSA, Rui. Desenho: um revolucionador de idéias [120 anos de discurso brasileiro]. Santa Maria: sCHDs, 2004.

BONSIEPE, Gui; KELLNER, Petra. POESSNECKER, Holger. "Metodologia experimental desenho industrial". CNPq/Coordenação Editorial. Brasília. 1984.

BONSIEPE, Gui. Design: do material ao digital. Trad. Cláudio Dutra. Florianópolis: FIESC/IEL, 1997.

BRASIL. DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. Resolução Nº 315 de 08 de maio de 2009. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_315_09.pdf>. Acesso em 08 out. 2012.

BRASIL. DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. Resolução Nº 231 de 15 de março de 2007. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_231.pdf>. Acesso em 08 out. 2012.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 08 nov. 2012.

CARNEIRO PINTO, K. N. Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Materiais) IPEN - Instituto de pesquisas energéticas e nucleares - USP. São Paulo, 2002.

CARREGARI, A. L. Estudo do escoamento de ar sobre a carroceria de um ônibus usando programa de CFD e comparação com dados experimentais. 2006. 125 F. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

CÔURAS FORD, E. T. L. (2008). Análise Quali-Quantitativa do Deslocamento da Camada-Limite em Carrocerias Veiculares. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2008.

DEPARTAMENTO DE PALEONTOLOGIA E ESTRATIGRAFIA - UFRGS. Tempo Geológico. Disponível em <http://www.ufrgs.br/paleodigital/Tempo_geologico.html> Acesso em: 10 nov. 2012.

DISCOVERY NA ESCOLA. Limulus. Disponível em <http://www.discoverynaescola.com/pdf/33cangrejo_c.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2012.

ESPECTRO CIENTÍFICO. Limulus – Fóssil Vivo. Disponível em <<http://quartzodeplasma.wordpress.com/2012/06/25/limulus-fossil-vivo/>>. Acesso em: 05 set. 2012.

E-Z-GO. A Textron Company – Excellence in Motion. Disponível em <<http://www.ezgo.com/golf/hospitality.html>>. Acesso em: 06 mar 2012.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. Introdução a mecânica dos fluidos. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992. 662 p.

GAVIRAGHI, D. L.. Metodologia de desenvolvimento de um anteprojeto para veículos leves e médios. 2005. 127 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

GOIS, J. P.; PITERI, M. A. Geração Automática de Malhas de Elementos Finitos e a Estrutura de Dados Winged-Edge Modificada. Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, V. 3, No. 1, 2002, p. 121-130.

GRANDJEAN, E. Manual de Ergonomia: adaptando o trabalho ao homem. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 1998.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, H. Capitalismo Natural: criando a próxima revolução industrial. São Paulo: Cultrix, 2007.

HEMAIS, C.A. Polímeros e a Indústria Automobilística. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 2, p 107-114, 2003.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Programas de Controle de emissões veiculares. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/qualidade-ambiental/areas-tematicas/controle-de-emissoes/proconve-promot/>> Acesso em 5 ago 2011.

INGARAU, G.; Di LORENZO, R.; MICARI, F. Energy and Resource efficient Forming Process. In: Design of highly integrative process chains with low energy demand (car body). Internationales Kolloquium des Spitzentechnologieclusters eniPROD, p. 717 – 45, 2009.

JAYAL, A. D., BADURDEEN, F., DILLON JR., O. W., JAWAHIR, I. S. Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, v. 2, p. 144–152, 2010.

JONASSEN, D. H. Toward a design theory of problem solving. Education technology research and development. P. 63-85, 2000.

JOSHI, K.; VENKATACHALAM, A.; JAAFAR, I.H.; JAWAHIR, I.S.. A new methodology for transforming 3R concept into 6R concept for improved product sustainability. In: IV Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering - Proceedings of the 4th Global Conference on sustainable product development and life-cycle engineering, 2006.

KINDLEIN, Wilson J. et al. Princípios básicos de junção utilizados em sistemas e subsistemas de produtos industriais e sua importância no desenvolvimento sustentável. In: Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2002, Campinas. Anais. SÃO PAULO, 2002. CD-ROM.

KINDLEIN, W. J.; GUANABARA, A.S. Methodology for product design based on the study of bionics. Materials and Design, Vol.26, p. 149–155, 2005.

LARICA, Neville Jordan. Design de Transportes. Arte em função da mobilidade. Rio de Janeiro. 2AB/ Puc-RIO, 2003.

MACEY, S.; WARDLE, G. . H-POINT: The Fundamentals of Car Design & Packaging. Design Studio Press: 2008.

MANZINI, E.; VELOZZI, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis – os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2008.

MARATONA UNIVERSITÁRIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 2012 - Regulamento Desportivo e Técnico. Disponível em <<http://www.maratonadaeficiencia.com.br/Regulamento%20-%20MARATONA%20UNIVERSITARIA%20DA%20EFICIENCIA%20ENERGETICA%202012.pdf>>. Acesso em: 03 mar 2012.

MEDINA, H. V.; GOMES, D. E. B. Gestão ambiental na indústria automobilística. Centro de Tecnologia Mineral - Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, maio, 2002. Artigo publicado em meio eletrônico no CIMM (Centro de Informação Metal Mecânica). Disponível em: <<http://www.cimm.com.br>>. Acesso em: 18 fev. 2012.

MICROCAR MUSEUM. The Bruce Weiner Microcar Museum Inc. Organização sem fins lucrativos que educa sobre a importância histórica dos microcarros. Disponível em <<http://microcarmuseum.com>>. Acesso em: 20 fev. 2012.

MONTEIRO, S.N., TERRONES, L.A.H., D'ALMEIDA, J.R.M., OLIVEIRA, L.B., "Aplicações Tecnológicas para Compósitos Poliméricos de Mantas de Fibra de Coco", In: *60º Congresso Anual da ABM*, pp. 1540-1548, Belo Horizonte, Brasil, 2005.

MORASSI, O.J. Fibras naturais – aspectos gerais e aplicação na indústria automobilística. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 11, 1994, Águas de São Pedro. Anais, São Paulo, 1994.

NAGEL, J. K. Systematic design of biologically-inspired engineering solutions. Doctor philosophy in Mechanical Engineering. Dissertação submetida a Oregon State University, USA, June 2010.

NICOLAZZI, L. C; ROSA, E. Introdução à modelagem de veículos automotores. GRANTE-UFSC: Florianópolis, 2001.

NÓBREGA, M. J. R., FRITZ, M., SOUZA, C.G. Inovações tecnológicas: aplicação de materiais cerâmicos na indústria automobilística. XXIV Encontro Nac. de Engenharia de Produção – Florianópolis – SC, p. 4187 – 4194, 2004.

NTU - Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano. Disponível em: <<http://www.ntu.org.br/novosite>> Acesso em: 1º ago 2011.

PETROVIC, Z.S. et al. Thermosetting resins from vegetable oils. In: Annual Technical Conference, 57., 1999, New York. *Proceedings*.. CD-ROM.

PICKERING, S.J. Recycling technologies for thermoset composite materials—current status. *Composites, Part A*, Vol. 37, p. 1206–1215, 2006.

RÉPLICA DE ISETTA. Informações sobre a história da Romi Isetta e fabricação de réplicas. Disponível em <<http://www.replicadeisetta.com.br/historia-romi-isetta.php>>. Acesso em: 15 fev. 2012.

ROWELL R. et al. Utilisation of natural fibers in plastic composites: problems and opportunities. In: Leão A., Carvalho F.X., Frollini, E., eds. *Lignocellulosic – plastics composites*. São Paulo: USP; UNESP, P. 23-51, 1997.

SATYANARAYANA, K.G., SUKUMARAN, K., KULKARNI, A.G., PILLAI, S.G.K., ROHATGI, P.K., "Fabrication and Properties of Natural Fibre-Reinforced Polyester Composites", *Composites*, v. 17, pp. 329–333, 1986.

SAVRANSKY, S. D. Engineering of creativity - introduction to triz methodology of inventive problem solving. Boca Raton: CRC Press, 2000.

SHARKE, P. Daimlerchrysler swims with the fish: from the evolution of the species. Design News, vol. 60, no 13, p:54, set. 2005.

SHELL. Winners for Shell Eco-marathon Americas 2011. Disponível em: <http://www.shell.com/home/content/ecomarathon/americas/media/event_highlights/2011/04172011_final.html>. Acesso em: 10 fev. 2012.

SILVA, M. G. A., ATVARIS, T. D. Z., PEDROSO, A. G., ROSA, D. S.. Reciclagem de compósitos de poliéster reforçado com fibra de vidro. In: IX Congresso interno de iniciação científica da UNICAMP, set., 2001, Campinas. Disponível em: <<http://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/ixcongresso/cdrom/pdfN/347.pdf>>. Acesso em 20 fev.2012.

SOLIDWORKS. Desmistificando a análise de projetos. Disponível em <http://mkt.solidworks.com/emarketing_enu> Acesso em: 04 ago. 2012.

SONG, X.; ZHANG, G.; WANG, Y.; HU, S. - Use of bionic inspired surfaces for aerodynamic drag reduction on motor vehicle body panels. Appl Phys & Eng, v. 12, n.7, p. 543-551, 2011.

SPEZI 2013. Evento de exposição de bicicletas reclinadas em Gernersheim, Alemanha. Disponível em <<http://www.spezialradmesse.de/>>. Acesso em 10 jan. 2013.

TORRES, P. L.; BOCHNIAK, Regina (Orgs.) . Uma leitura para os temas transversais - Ensino Fundamental. 1. ed. Curitiba: SENAR-PR, 2003.

VELOMOBILEMEDIA. Disponível em <<http://velomobilemedia.com/velomobile.htm>> Acesso em 12 nov. 2012.

V-FLAP. How Aerodynamic Saves Fuel. Disponível em <<http://www.vflap.com/content/HowAerodynamicSavesFuel.html>>. Acesso em: 10 jan.2012.

UNIVERSIDADE DO ARIZONA. Geosciences. Disponível em <<http://www.geo.arizona.edu/>>. Acesso em: 10 set .2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - ÁREA DE ENGENHARIA DE RECURSOS HIDRICOS. Ecologia Geral: Introdução às Ciências do Ambiente para Engenharia. Disponível em <<http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/CA/CASemestreAtual/1Parte.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2011.