



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS CURITIBA**  
**DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE**  
**MATERIAIS - PPGEM**

**MÁRCIO ALESSANDRO DE LAZZARI**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UM VEÍCULO**  
**ELÉTRICO COLETOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS**  
**URBANOS RECICLÁVEIS**

**CURITIBA**

**MAIO – 2010**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**MÁRCIO ALESSANDRO DE LAZZARI**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UM VEÍCULO  
ELÉTRICO COLETOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS RECICLÁVEIS**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, área de concentração em Engenharia da Manufatura, do Departamento de Ensino e Pesquisa em Pós-Graduação, do Campus Curitiba, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Cássia Maria Lie Ugaya,  
DSc.Eng.

Co-Orientação: Cícero Jaime Bley Jr., MSc.

Alejandro Pablo Arena, DSc.Eng.

**CURITIBA**

**MAIO – 2010**

## TERMO DE APROVAÇÃO

### AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UM VEÍCULO ELÉTRICO COLETOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS RECICLÁVEIS

por

**MÁRCIO ALESSANDRO DE LAZZARI**

Esta Dissertação foi julgada para a obtenção do título de mestre em engenharia, área de concentração em engenharia de manufatura, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

---

**Professor Doutor Giuseppe Pintaúde**  
Coordenador de Curso

#### **Banca Examinadora**

---

Prof. Fabrice Mathieux, DSc.Eng.  
(Institut Polytechnique de Grenoble,  
França)

---

Heloísa Vasconcellos de Medina,  
DSc.Engenharia de Produção  
COPPE/UFRJ  
(Pesquisadora do CETEM/MCT)

---

Prof. Milton Borsato, Ph.D. (UTFPR)

---

Prof. Carlos Cziulik, Ph.D. (UTFPR)

---

Prof. Cássia Maria Lie Ugaya, DSc.Eng.  
(UTFPR)

**Curitiba, 31 de maio de 2010.**



## BIOGRAFIA DO AUTOR

Márcio Alessandro de Lazzari, brasileiro, nascido à 20 de maio de 1978, é graduado em Tecnologia em Mecânica - Modalidade Gestão da Manufatura pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2006), onde foi o primeiro aluno do curso a defender o trabalho de conclusão de curso com amplitude internacional. Coursou disciplinas do mestrado profissional em Gerenciamento Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pela *Université de Technologie de Troyes* (UTT) na França (2006). Possui experiência na área de Engenharia de Manufatura, com ênfase em Sistemas de Gerenciamento Integrados (SGIs), tendo atuado com a implementação de sistemas de gerenciamento da qualidade, meio ambiente e saúde e segurança. Trabalha com Ecodesign (Ecoprojetos) desde 2006, incorporando os aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos e processos e realizando a Avaliação do Ciclo de Vida dos Produtos (ACV). Foi vencedor do Prêmio AEA de Meio Ambiente 2009 na categoria acadêmicos e teve o reconhecimento no congresso 2008 da SAE Brasil como melhor *paper* na categoria meio ambiente.

## AGRADECIMENTOS

A realização deste projeto de mestrado *stricto sensu* foi um desafio assumido em 2007 e teve a promoção de incontáveis enriquecimentos. Todavia, sem algumas pessoas este projeto não teria obtido o mesmo êxito e torna-se fundamental a menção a elas.

Em primeiro momento, agradeço à minha orientadora Prof. Cássia Maria Lie Ugaya e aos meus co-orientadores Cícero Jaime Bley Júnior e Prof. Alejandro Pablo Arena, ambos pelo fundamental aconselhamento e comprometimento com o projeto.

Ao Prof. Milton Borsato, agradeço pela acolhida, de forma gentil e amigável, no laboratório TIDEP situado no CITEC da UTFPR, pela estrutura fornecida.

Meus agradecimentos são igualmente estendidos à equipe do PPGEM da UTFPR, seja na pessoa dos coordenadores, secretaria e do colegiado, como dos professores, com quem tive o privilégio de compartilhar reflexões científicas e tecnológicas. Aos colegas e professores do PPGTE da UTFPR e aos colegas da disciplina de ergonomia do PGMEC da UFPR e à Prof. Maria Lúcia R. Okimoto.

Fica também o registro com as amizades que foram estabelecidas neste período e que acredito poder levar para o resto da vida, incluindo todos os amigos e colegas do PPGEM e dos outros programas de pós-graduação e graduação com quem tive contato (PPGTE e CPGEI da UTFPR e PGMEC da UFPR).

Pelo suporte financeiro, permanecem os agradecimentos ao PDTA da Fundação Parque Tecnológico de Itaipu (FPTI), pela bolsa de mestrado de um ano, e à empresa Proficiens, por todo o suporte no restante do tempo.

Agradeço aos senhores Rogério Guimarães e Divonsir Menarim, pelo fornecimento das informações sobre o veículo objeto do estudo de caso, assim como do *staff* do PTI, do CIH, da Unido e do Observatório de Energias Renováveis.

Registro também o agradecimento à Barbara Civit e aos demais pesquisadores da UTN de Mendoza (Argentina), e a oportunidade de compartilhamento das informações com os colegas da *Society of Automotive Engineers* (SAE Brasil) e da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA) nos temas pesquisados.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus avós Edla Maria Barbosa Teixeira (*in memorian*) e Marino Souza Teixeira (*in memorian*), ao meu nêno Raimundo de Lazzari (*in memorian*) e à minha nona Mercedes Martins de Lazzari (*in memorian*). À Alissi Domingues de Oliveira por minha existência, e a Roney Lazzari e Elda Maria de Lazzari, por terem me propiciado condições de continuar a existir. À minha irmã Andressa, aos meus amigos André Rolim Romagna e Marcello Lima Galvão, além de todos os brasileiros que lutam com honra pela pátria amada a favor do progresso.

*"Um dia, a Terra vai adoecer. Os pássaros cairão do céu, os mares vão escurecer e os peixes aparecerão mortos na correnteza dos rios. Quando esse dia chegar, os índios perderão o seu espírito. Mas vão recuperá-lo para ensinar ao homem branco a reverência pela sagrada terra. Aí, então, todas as raças vão se unir sob o símbolo do arco-íris para terminar com a destruição. Será o tempo dos Guerreiros do Arco-Íris."  
(profecia feita há mais de 200 anos por "Olhos de Fogo", uma velha índia Cree)*

LAZZARI, Márcio Alessandro. **Avaliação Ambiental de um Veículo Elétrico Coletor de Resíduos Sólidos Urbanos Recicláveis**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 247p.

## RESUMO

No caminho para novas tecnologias para produção de eletricidade, a ITAIPU lançou, no início de 2007, um programa para promover o uso e desenvolvimento de energias renováveis. Uma das possibilidades examinadas considera o uso de resíduos urbanos orgânicos como insumo para gerar eletricidade em centrais termoelétricas por meio de biogás. Paralelamente, resíduos sólidos urbanos recicláveis constituem um grave problema ambiental no Brasil, pois não são separados dos resíduos orgânicos e não possuem uma destinação adequada. Paradoxalmente, muitas pessoas de classes sociais menos favorecidas sobrevivem com a coleta de resíduos recicláveis nos centros urbanos, utilizando veículos de tração humana e animal, sem condições adequadas de trabalho. Considerando este cenário, o programa de Energias Renováveis da ITAIPU apresentou um veículo elétrico movido a puxão para a coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos recicláveis, concebido em parceria com uma indústria privada. Nesse contexto, há vários impactos ambientais que ocorrem durante o ciclo de vida deste veículo e que poderiam ser considerados durante a fase de projeto do produto. Alguns desses aspectos envolvem desde as tecnologias de baterias, o consumo durante o uso até a rastreabilidade e gestão do final de vida. Neste sentido, este trabalho tem a proposta de avaliar os impactos ambientais para o veículo descrito a partir de critérios usualmente utilizados pela indústria automotiva internacional, por meio de um estudo de caso. Com a aplicação dos conceitos de normas de gestão ambiental, como a de Avaliação do Ciclo de Vida (ABNT NBR ISO 14040), e de medição da taxa de reciclabilidade (ISO 22628), além do lançamento dos dados no *software* SimaPro 7.1®, são obtidas informações que contribuem para o projeto de um novo veículo elétrico com impactos menos agressivos.

**Palavras-chave:** coleta de resíduos, gestão de resíduos sólidos, veículo elétrico, avaliação ambiental, projeto para o meio ambiente.

LAZZARI, Márcio Alessandro. **Environmental Assessment of an Electric Vehicle for Collecting Recyclable Urban Solid Waste**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 247p.

## **ABSTRACT**

*Towards the use of new technologies for electricity production, ITAIPU launched in 2007, a program to promote the use and development of renewable sources of energy. One possibility examined considered to process organic waste as raw material to generate electricity, from thermoelectric plants using biogas. At the same time, urban solid waste recycling are a serious environmental problem in Brazil since people are not used to separate it from the organic waste and, therefore there is not an appropriate destination. On the other hand, many people from lower social classes survive by collecting recyclable waste in urban centers, using adapted vehicles without adequate working conditions. Considering this scenario, the Renewable Energy Programme from Itaipu presented an electric vehicle for the collection and transportation of urban solid waste, designed in partnership with a private industry. In this context, there are several environmental impacts that occur during the life cycle of this vehicle and could be considered during the product design phase. Some of these aspects involve: i) the battery technologies; ii) consumption during use; iii) end of life management and traceability. Applying criteria commonly used by the international automobile industry, this work aims at evaluating the environmental impacts of the mentioned vehicle through a case study. Using concepts from environmental management standards, such as Life Cycle Assessment (ABNT NBR ISO 14040), inserting data in the SimaPro 7.1® software, measuring the rate of recyclability (ISO 22628), information is obtained that after organized, contributes to the design of a new electric vehicle with lower environmental impacts.*

**Key-Words:** *waste collection, solid waste management, electric vehicle, environmental assessment, design for environment.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Municípios brasileiros com coleta seletiva de resíduos .....	34
Figura 1.2 - Classificação dos resíduos sólidos conforme a origem .....	35
Figura 1.3 - Etapas básicas da gestão de resíduos sólidos urbanos recicláveis ..	35
Figura 1.4 - Exemplo do caminhão do programa da prefeitura de Curitiba .....	36
Figura 1.5 - Resultados da entrevista realizada com os agentes de coleta .....	37
Figura 1.6 - Exemplos de veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis .....	38
Figura 1.7 - Conexões da cadeia de valor do varejo .....	39
Figura 1.8 - Exemplo de uma rede de cooperação entre os atores da coleta de resíduos .....	40
Figura 1.9 - Exemplo de veículo motorizado utilizado por agentes de coleta autônomos no centro de Curitiba (PR) .....	41
Figura 1.10 - Veículo em demonstração no Parque Tecnológico Itaipu .....	41
Figura 1.11 - Programa de Geração Distribuída aplicada à utilização de energia elétrica nos VEC300 dos agentes de coleta .....	42
Figura 1.12 - Cadastro das associações e cooperativas dos agentes de coleta ..	42
Figura 1.13 - Diagrama do conteúdo da dissertação .....	46
Figura 2.1 - Regiões que possuem legislação específica para a coleta e destino final ambientalmente correto de VFVs .....	48
Figura 2.2 - Exemplo gráfico de como funciona a gestão dos VFVs na Europa ...	50
Figura 2.3 - Exemplos de aplicação de bônus ambiental na compra de um novo veículo, com a entrega do veículo usado .....	51

Figura 2.4 - Exemplo gráfico de como funciona a gestão dos VFVs no Japão .....	52
Figura 2.5 - Portal disponível na Internet: o ELVS norte-americano .....	53
Figura 2.6 - Veículos elétricos Chevrolet EV1 prestes a serem enterrados .....	54
Figura 2.7 - Veículos de fabricação brasileira em circulação sem condições de uso .....	55
Figura 2.8 - Veículos de fabricação argentina em circulação sem condições de uso .....	55
Figura 2.9 - Relatório de avarias para classificação de danos .....	57
Figura 2.10 - Geração de resíduos sólidos na fabricação e descarte de automóveis .....	58
Figura 2.11 - Proposta para renovação da frota de automóveis brasileira .....	59
Figura 2.12 - Excerto da página inicial da <i>home page</i> na Internet da Plataforma IDIS .....	62
Figura 2.13 - Excertos do <i>tour</i> guiado da disposição dos dados referente à classificação das áreas .....	63
Figura 2.14 - Excerto da <i>home page</i> na Internet da Plataforma IMDS .....	64
Figura 2.15 - Exemplos de certificação de eficiência energética para veículos ....	66
Figura 2.16 - Exemplo do selo EPEAT para certificação de equipamentos de informática .....	67
Figura 2.17 - Selo ambiental concedido pelo IQA para o veículo VW 19320E .....	68
Figura 2.18 - O sistema do ciclo de vida do produto .....	69
Figura 2.19 - Ciclo de vida de um automóvel .....	70
Figura 2.20 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida .....	72



Figura 2.21 - Correlação do inventário dos dados de emissões relacionados aos impactos ambientais de algumas fases do ciclo de vida de um automóvel .....	73
Figura 2.22 - Macro informações sobre o estudo de ACV do caminhão VW Constellation .....	74
Figura 2.23 - Fontes de fluxos e dados em uma ACV .....	74
Figura 2.24 - Integração das bases de dados de inventário como o IMDS e de software de ACV na modelagem de novos veículos .....	75
Figura 2.25 - Variáveis que interferem diretamente na busca por soluções para um projeto para a mobilidade automotiva ambientalmente sustentável .....	78
Figura 2.26 - Aplicação das variáveis peso, aerodinâmica e eficiência dos componentes elétricos no VW Golf VI .....	78
Figura 2.27 - Diversos aspectos associados aos aspectos ambientais na concepção de um novo veículo .....	79
Figura 2.28 - A responsabilidade integrada de produto com a inserção dos aspectos ambientais .....	80
Figura 2.29 - Veículo VW Golf A5 desmontado .....	80
Figura 2.30 - Quatro etapas sistêmicas da desmontagem de um VFV .....	81
Figura 2.31 - A seqüência de reciclagem automotiva .....	82
Figura 2.32 - Fluxos de componentes dos centros de desmontagem automotiva para reutilização de componentes, reprocessamento de materiais e operações de recuperação de energia .....	82
Figura 2.33 - Exemplo gráfico das fases do final de vida automotivo .....	83
Figura 2.34 - Fluxo de massa para o sistema automotivo norte-americano em milhões de toneladas métricas .....	84

Figura 2.35 - Sistema FARE da FIAT .....	86
Figura 2.36 - Detalhe da desmontagem do paralamas do Renault Ellypse .....	87
Figura 2.37 - Exemplo dos componentes de um caixa “pack” bateria, utilizado em um automóvel híbrido .....	88
Figura 2.38 - Desmontagem do módulo e células da bateria de alta tensão do Honda Civic Híbrido em vias de facilitar a entrada nos processos de reciclagem.....	88
Figura 2.39 - Exemplos de componentes automotivos que contém mercúrio .....	89
Figura 2.40 - Exemplo de segregação de componentes automotivos que possuem mercúrio .....	89
Figura 2.41 - Evolução da inserção dos componentes recicláveis na produção de automóveis .....	90
Figura 2.42 - Composição de material de 17 modelos de automóveis populares fabricados em 1998 .....	91
Figura 2.43 - As proporções de materiais metálicos em diferentes modelos da série VW Golf .....	92
Figura 2.44 - Aplicação da matriz de alumínio em veículos .....	92
Figura 2.45 - Detalhamento da matriz de material utilizada nos veículos VW Golf .....	93
Figura 2.46 - Aplicação de fibra de juta no Renault Clio II .....	95
Figura 2.47 - Estimativa do impacto de 1kg de um compósito na mudança climática (potencial de efeito estufa medido por meio de equivalentes de CO <sub>2</sub> ) em diferentes fases do ciclo de vida .....	96

Figura 2.48 - Lâmpadas automotivas livres de metais pesados, com boa eficiência energética e serviço de <i>take-back</i> no final de vida .....	97
Figura 2.49 - Exemplos de lâmpadas e faróis automotivos com 98% menos material que os tradicionais .....	97
Figura 2.50 - Exemplo do conceito do ciclo de vida .....	99
Figura 2.51 - Inter-relação entre as práticas de Projeto para o Meio Ambiente ....	104
Figura 2.52 - Contextualização de desenvolvimento de produtos sustentáveis ...	105
Figura 2.53 - Exemplo de um modelo genérico de integração de aspectos ambientais no projeto e processo de desenvolvimento do produto .....	106
Figura 2.54 - Processo integrado de projeto de produtos e ACV .....	108
Figura 2.55 - Classificação das ferramentas que são utilizadas para ecodesign e projeto sustentável e seus respectivos usos no processo de desenvolvimento de produto .....	112
Figura 2.56 - Principais formas de tração dos veículos utilizados para coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis .....	113
Figura 2.57 - Diversas concepções de veículos, com várias formas de tração, utilizados por agentes de coleta no Brasil .....	115
Figura 2.58 - Exemplos de veículos analisados no município de Lorena (SP) .....	115
Figura 2.59 - Veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis: protótipos virtuais .....	117
Figura 2.60 - Resumo das principais etapas de desenvolvimento do veículo de coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis .....	120
Figura 2.61 - Triciclo de carga .....	121
Figura 2.62 - Detalhamento dos componentes do triciclo de carga .....	122

Figura 2.63 - Mudanças climáticas: ilustração das fontes geradoras da poluição atmosférica e efeitos relacionados .....	125
Figura 2.64 - Exemplo de <i>smog</i> na cidade de Curitiba PR .....	126
Figura 2.65 - Acidificação: ilustração das fontes geradoras e efeitos relacionados .....	126
Figura 2.66 - Estimativa de emissões de poluentes em 2002 no Brasil, em função da idade da frota automotiva .....	128
Figura 2.67 – Coletortec .....	128
Figura 2.68 - Configurações da propulsão elétrica em veículos .....	130
Figura 2.69 - Gurgel Itaipu .....	131
Figura 2.70 - Classificação dos veículos elétricos por objetivo .....	131
Figura 2.71 - Tipos de emprego de veículos elétricos .....	132
Figura 2.72 - Classificação dos parâmetros básicos tecnológicos de um veículo elétrico .....	133
Figura 2.73 - Funcionamento de um veículo híbrido .....	135
Figura 2.74 - Exemplo de um veículo híbrido comercializado mundialmente .....	135
Figura 2.75 - VEB tripulados para transporte de cargas: modularidade de containeres e funções apoiados sobre o chassi .....	137
Figura 2.76 - VEB tripulados para transporte de cargas: modularidade de containeres e funções apoiados sobre o chassi .....	137
Figura 2.77 - Esquema gráfico de utilização de um veículo elétrico não tripulado de carga movido a puxão .....	140
Figura 2.78 - Comparação de energias específicas de diferentes tecnologias de baterias .....	144

Figura 3.1 - Diagrama de atividades do método de avaliação ambiental .....	149
Figura 3.2 - Diagrama de inter-relacionamento dos três parâmetros essenciais para avaliação ambiental .....	153
Figura 3.3 - Etapas da seleção de materiais .....	154
Figura 3.4 - Estrutura básica de um MDS .....	155
Figura 3.5 - Exemplo de planilha para inserção de dados e cálculo da taxa de reciclabilidade em conformidade com a ISO 22628 .....	156
Figura 3.6 - Etapas do estudo da ACV ambiental simplificada .....	158
Figura 4.1 - Desenho conceitual do VEC300 .....	161
Figura 4.2 - Componentes do VEC300 divididos em sete grupos .....	162
Figura 4.3 - Descrição e detalhamento dos componentes .....	163
Figura 4.4 - Percentual em massa dos materiais utilizados no VEC300 .....	164
Figura 4.5 - Caracterização dos componentes de uma bateria de chumbo-ácido.....	165
Figura 4.6 - Caracterização dos componentes da bateria de chumbo-ácido Bosch série S5 .....	166
Figura 4.7 - Caracterização dos componentes da bateria de chumbo-ácido Bosch série S5 .....	167
Figura 4.8 - Motor elétrico Bosch GPA 0 130 302 014 .....	169
Figura 4.9 - Caracterização de alguns componentes da controladora .....	170
Figura 4.10 - Pneu modelo Forti utilizado no VEC300 .....	170
Figura 4.11 - Fotos ilustrativas dos metais ferrosos aplicados no VEC300 .....	171
Figura 4.12 - Exemplo de chapa de “Ecotop” .....	172

Figura 4.13 - Amostras das sobras das chapas de “Ecotop” utilizadas na carenagem do VEC300 .....	173
Figura 4.14 - Variação na massa das chapas “Ecotop” .....	174
Figura 4.15 - Variação dimensional no comprimento das chapas “Ecotop” .....	174
Figura 4.16 - Variação dimensional das chapas “Ecotop” .....	175
Figura 4.17 - Diagrama de inter-relacionamento dos três parâmetros essenciais para avaliação ambiental do VEC300 .....	176
Figura 4.18 - Correlação das fases do ciclo de vida e os impactos ambientais ....	178
Figura 4.19 - Exemplo de estrutura de dados de um MDS para o VEC300 .....	179
Figura 4.20 - Aplicação da matriz e cálculo da taxa de reciclabilidade do VEC300 .....	181
Figura 4.21 - Descrição da função do VEC300 .....	182
Figura 4.22 - Cenários que podem simular outras unidades funcionais .....	184
Figura 4.23 - Sistema de produto do estudo .....	186
Figura 4.24 - Mapeamento de processos do ciclo de vida do aço automotivo .....	187
Figura 4.25 - Mapeamento de processos do ciclo de vida de pneus automotivos.....	188
Figura 4.26 - Mapeamento de processos do ciclo de vida de uma bateria de chumbo-ácido automotiva .....	189
Figura 4.27 - Matriz de coleta de dados do VEC300 .....	192
Figura 4.28 - Local onde é realizada a proteção de superfícies dos materiais metálicos ferrosos .....	194

Figura 4.29 - Rede de contribuição dos impactos ambientais associados ao ciclo de vida do VEC300, para o período de dez anos, método Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 (H/H), visualização corte de 1% .....	206
Figura 4.30 - Comparação das fases de montagem, utilização e descarte: método Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H, pontuação única .....	207
Figura 4.31 - Comparação das fases de montagem, utilização e descarte: método EDIP 2003, pontuação única .....	208
Figura 4.32 - Comparação das fases de montagem, utilização e descarte: método Impact2002+, pontuação única .....	208
Figura 4.33 - Comparação dos componentes, método Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H, caracterização .....	209
Figura 4.34 - Comparação dos componentes, método Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H, normalização .....	210
Figura 4.35 - Comparação dos componentes, método Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H, ponderação .....	211
Figura 4.36 - Comparação dos componentes, método Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H, pontuação única .....	212
Figura 4.37 - Comparação dos componentes sem controladora (PCI), método Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H, pontuação única .....	212
Figura 4.38 - Comparação das fases de montagem, utilização e descarte: método Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H, pontuação única, com energia proveniente de biodigestores .....	213
Figura 4.39 - Etapas de desenvolvimento de produto em que os aspectos ambientais podem ser implementados com aplicação da norma de ecodesign ...	215

Figura 4.40 - Sistema de armazenamento .....	216
Figura 4.41 - Acesso às rodas .....	217
Figura 4.42 - Chapas “Ecotop” após início da utilização .....	218
Figura 4.43 - Exemplo de PEV móvel em sistema modular para coleta de resíduos .....	220



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Classificação do estudo de mestrado <i>stricto sensu</i> .....	45
Tabela 2.1 - Legislações europeias existentes que envolvem o final de vida de automóveis .....	48
Tabela 2.2 - Média de conteúdo de material de um VFV em um reciclador finlandês .....	51
Tabela 2.3 - Correlação entre as fases do ciclo de vida de um automóvel com motor de combustão interna, impactos ambientais e exemplo associado ao limite de cada sistema .....	76
Tabela 2.4 - Composição de material em um veículo popular fabricado na Europa .....	91
Tabela 2.5 - Comparação da evolução da aplicação de peças potencialmente recicladas e recicláveis em veículos .....	94
Tabela 2.6 - Comparação sobre os métodos mais aplicados no desenvolvimento de produtos que abordam ou não os conceitos de desenvolvimento sustentável .....	101
Tabela 2.7 - Comparação sobre algumas metodologias de desenvolvimento de produtos .....	102
Tabela 2.8 - Métodos de desenvolvimento de produtos que incorporam aspectos ambientais .....	103
Tabela 2.9 - Análise dos métodos e ferramentas, classificados em função dos dados de entrada e saída e da natureza .....	110

Tabela 2.10 - Classificação dos tipos de veículos mais comuns encontrados nas ruas de Curitiba para a coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis .....	114
Tabela 2.11 - Sistema material função .....	116
Tabela 2.12 - Etapas de projeto e desenvolvimento de um veículo coletor de resíduos sólidos urbanos recicláveis utilizados no projeto .....	118
Tabela 2.13 - Excerto das especificações do projeto do veículo de coleta .....	119
Tabela 2.14 - <i>Benchmarking</i> de projetos de veículos movidos a empurrão não tripulados, e tripulados movidos à força humana com acionamento mecânico, utilizados no Brasil para transporte de resíduos nos centros urbanos .....	124
Tabela 2.15 - Veículos motorizados tripulados tipo VEB, utilizados no Brasil e no mundo, para transporte de resíduos em diversos locais e diferentes terrenos..	139
Tabela 2.16 - Veículos motorizados tipo VEB movidos a puxão, não tripulados, utilizados no Brasil para transporte de bens e resíduos em centros urbanos .....	143
Tabela 2.17 - Vantagens e limitações de quatro tecnologias de baterias .....	145
Tabela 3.1 - Exemplo de planilha utilizada para a coleta de dados .....	150
Tabela 4.1 - Dados técnicos do VEC300 .....	164
Tabela 4.2 - Composição percentual mais provável de baterias de chumbo-ácido tipo SLI .....	165
Tabela 4.3 - Materiais recicláveis presentes em baterias veiculares e tracionárias de chumbo-ácido .....	166
Tabela 4.4 - Descrição da bateria de chumbo-ácido Bosch série S5 .....	168
Tabela 4.5 - Vida útil estimada para baterias automotivas em diferentes países e regiões .....	168

Tabela 4.6 - Especificação técnica dos pneus modelo Forti da marca Maggion ..	171
Tabela 4.7 - Valores de espessura e massa das chapas “Ecotop” .....	173
Tabela 4.8 - Dados de massa e dimensionais das amostras de chapas “Ecotop” .....	173
Tabela 4.9 - Conjunto de parâmetros associados aos grupos de componentes do VEC300 que podem ser inseridos no modelo IDIS versão 4.29 .....	180
Tabela 4.10 - Parâmetros da unidade funcional .....	183
Tabela 4.11 - Cenários que podem simular outras unidades funcionais .....	183
Tabela 4.12 - Descrição do fluxo de referência .....	185
Tabela 4.13 - Principais distâncias relacionadas aos componentes .....	193
Tabela 4.14 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m <sup>2</sup> ) para proteção de superfície para o chassi .....	195
Tabela 4.15 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m <sup>2</sup> ) para proteção de superfície para o mecanismo de acionamento .....	195
Tabela 4.16 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m <sup>2</sup> ) para proteção de superfície para as chapas do sistema de armazenamento .....	196
Tabela 4.17 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m <sup>2</sup> ) para proteção de superfície para os arames do sistema de armazenamento .....	196
Tabela 4.18 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m <sup>2</sup> ) para proteção de superfície para todo o sistema de armazenamento .....	197
Tabela 4.19 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m <sup>2</sup> ) para proteção de superfície total .....	197
Tabela 4.20 - Estimativa de quantidade de material depositado na soldagem (em m) por grupo de componente associado .....	198

Tabela 4.21 - Estimativa de consumo de energia elétrica na etapa de manufatura .....	198
Tabela 4.22 - Cálculo do consumo de eletricidade do VEC300 .....	200
Tabela 4.23 - Correlação dos materiais utilizados na modelagem do VEC300 no SimaPro® versão 7.1.5 e banco de dados do Ecoinvent versão 1.3 e Idemat 2001 .....	201
Tabela 4.24 - Correlação dos processos de fabricação utilizados na modelagem do VEC300 no SimaPro® versão 7.1.5 e banco de dados do Ecoinvent versão 1.3 e Idemat 2001 .....	202

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - Estimativa do processo de transporte .....	151
Equação 02 - Estimativa do processo de produção: área total da superfície depositada de material .....	151
Equação 03 - Estimativa do processo de produção: quantidade de soldagem.....	152
Equação 04 - Estimativa do processo de produção: Consumo de eletricidade nas etapas de fabricação .....	152
Equação 05 - Consumo de eletricidade durante o uso .....	152
Equação 06 - Taxa de Reciclabilidade .....	155
Equação 07 - Unidade Funcional .....	158

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	-Duas dimensões
3D	-Três dimensões
A	-Ampère
ABNT	-Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	-Acrilonitrilo Butadieno Estireno
ABS	- <i>Antilock-Braking System</i>
ACV	-Avaliação do Ciclo de Vida
AEA	-Associação Brasileira de Engenharia Automotiva
Ah	-Ampère-hora
AICV	-Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
Al	-Alumínio
ANFAVEA	-Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
AsCV	-Avaliação Social do Ciclo de Vida
atm	-Atmosfera
bar	-Unidade de pressão
BOAT	-Boletim de Ocorrência de Acidente de Trânsito
°C	-Celsius
CAD	- <i>Computer Aided Design</i>
CAE	- <i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	- <i>Computer Aided Manufacturing</i>
CCS	- <i>Combinated Combustion Systems</i>
Cd	-Cádmio
CDT	-Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico
CE	-Comunidade Européia
CED	- <i>Cumulative Energy Demand</i>
CEMPRE	-Compromisso Empresarial para a Reciclagem
CEPEL	-Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CER	-Centro de Energias Renováveis
CH <sub>4</sub>	-Metano

CIH	-Centro Internacional de Hidroinformática
CITEC	-Centro de Inovação Tecnológica da UTFPR
cm	-Centímetro
CO	-Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	-Dióxido de Carbono
COMLURB	-Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Município do Rio de Janeiro
CONAMA	-Código Nacional de Meio Ambiente
CONTRAN	-Conselho Nacional de Trânsito
COPEL	-Companhia Paranaense de Energia
CPGEI	-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial
CRV	-Centro de Reciclagem de Veículos
CSV	-Certificado de Segurança Veicular
CTB	-Código de Trânsito Brasileiro
Cu	-Cobre
DAMEC	-Departamento Acadêmico de Mecânica
DETRAN	-Departamento de Trânsito
DfD	<i>-Design for Disassembly</i>
DfE	<i>-Design for Environment</i>
DfM	<i>-Design for Manufacturing</i>
DfMA	<i>-Design for Manufacturing and Assembly</i>
DfS	<i>-Design for Sustainability</i>
DfR	<i>-Design for Recycling</i>
DIN	<i>-Deutsches Institut für Normung</i>
DNIT	-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EEA	<i>-Environmental Effect Analysis</i>
ELVS	<i>-End of Life Vehicle Solutions</i>
EPA	<i>-Environmental Protection Agency</i>
EPEAT	<i>-Environmental Assessment of Personal Computer Products</i>
ERPA	<i>-Environmental Responsibility Product Assessment</i>
FARE	<i>-Fiat Auto Recycling</i>

FCA	- <i>Full-Cost Accounting</i>
FEEMA	-Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro
FIFO	- <i>First In First Out</i>
FMEA	- <i>Failure and Mode Effect Analysis</i>
FPTI	-Fundação Parque Tecnológico Itaipu
g	-Grama
GADSL	- <i>Global Automotive Declarable Substance List</i>
GM	- <i>General Motors</i>
GWP	- <i>Global Warming Potential</i>
HC	-Hidrocarboneto
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-Ácido Sulfúrico
HEV	- <i>Hybrid and Electric Vehicle</i>
Hg	-Mercúrio
HP	- <i>Horse Power</i>
HPV	- <i>Human Powered Vehicle</i>
IACV	-Inventário de Avaliação do Ciclo de Vida
IAP	-Instituto Ambiental do Paraná
IBAMA	-Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE	-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	-Inventário do Ciclo de Vida
IDIS	- <i>International Dismantling Information System</i>
IEEE	- <i>Institut of Electrical and Electronic Engineers</i>
IMDS	- <i>International Material Data System</i>
INEA	-Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro
IPI	-Imposto sobre Produto Industrializado
IQA	-Instituto de Qualidade Automotiva
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
ITAI	-Instituto de Tecnologia Aplicada à Inovação
kg	-Quilograma
kgf	-Quilograma-força
km	-Quilômetro



kW	-Quilowatt
kWh	-Quilowatt-hora
km/h	-Quilômetro por hora
LACTEC	-Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
lbs/pol <sup>2</sup>	-Libras por polegada ao quadrado
LCC	- <i>Life Cycle Costing</i>
LCD	- <i>Life Cycle Design</i>
LCI	- <i>Life Cycle Initiative</i>
LCI	- <i>Life Cycle Inventory</i>
Led	- <i>Light Emission Diode</i>
LidS-Wheel	- <i>Life Cycle Design Strategy</i>
Li-Íon	-Lítio Íon
Li-Pol	-Lítio Polimérico
m	-Metro
MCI	-Motor de Combustão Interna
MDS	- <i>Material Data System</i>
MET	- <i>Material, Energy, Toxic emissions</i>
MIG	- <i>Metal Inert Gas</i>
MIPS	- <i>Material Input Per Service unit</i>
mm	-Milímetro
MNCMR	-Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis
MONM	-Material Orgânico Não Metálico
MP	-Material Particulado
m <sup>2</sup>	-Metro quadrado
MWh	-Megawatt-hora
N	-Newton
NaNiCl	-Sódio Níquel Cloro
NBR	-Norma Brasileira Registrada
Ncm	-Newton-centímetro
NiCd	-Níquel Cádmio
NiMH	-Níquel Metal Hidruro
NO <sub>x</sub>	-Óxido de Nitrogênio

NVMSRP	- <i>National Vehicle Mercury Switch Recovery Program</i>
O <sub>3</sub>	-Ozônio
OCEPAR	-Sindicato e Organização das Cooperativas do Estado do Paraná
OPERA	- <i>Overseas Project for Economical Recycling Analysis</i>
PAN	-Peroxí-Acetil-Nitrato
Pb	-Chumbo
PbO	-Óxido de chumbo
PL	-Projeto de lei
PDP	-Processo de Desenvolvimento de Produto
PDTA	-Programa de Desenvolvimento Tecnológico Avançado
PE	-Polietileno
PET	-Politereftalato de etileno
PEV	-Posto de Entrega Voluntária
PGMEC	-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
PNUMA	-Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PP	-Polipropileno
PPGEM	-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de - Materiais
PPGTE	-Programa de Pós-Graduação em Tecnologia
PR	-Estado do Paraná
PROCONVE	-Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PS	-Poliestireno
PTI	-Parque Tecnológico Itaipu
PVC	-Policloreto de Vinila
QFD	- <i>Quality Function Deployment</i>
QFDE	- <i>Quality Function Deployment for Environment</i>
R\$	-Real (moeda brasileira)
RCHO	-Radical ligado a Carbono, Hidrogênio e Oxigênio
REEE	-Resíduo de Equipamento Elétrico e Eletrônico
RoHS	- <i>Restriction of certain Hazardous Substances</i>
SAE	- <i>Society of Automotive Engineers</i>

SANEPAR	-Companhia de Saneamento do Paraná
SEES	- <i>Sustainable Electrical and Electronic System for the Automotive Sector</i>
SGI	-Sistema de Gerenciamento Integrado
Sn	-Estanho
SP	-Estado de São Paulo
SPD	- <i>Sustainable Product Design</i>
TEP	- <i>Toxic Emissions Potential</i>
TIDEP	-Núcleo de Tecnologia da Informação Aplicada ao Desenvolvimento de Produto
tkm	-Tonelada quilômetro
TPI	- <i>Toxicity Potential Index</i>
UFPR	-Universidade Federal do Paraná
UNEP	- <i>United Nations Environment Programme</i>
URBS	-Companhia de Urbanização do Município de Curitiba
UTFPR	-Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTN-FRM	- <i>Universidad de Tecnologia Nacional de Mendoza</i>
UTT	- <i>Université de Technologie de Troyes</i>
V	-Volt
VDA	- <i>Verband der Automobilindustrie</i>
VE	-Veículo Elétrico
VEB	-Veículo Elétrico à Bateria
VECC	-Veículo Elétrico de Célula à Combustível
VEH	-Veículo Elétrico Híbrido
VEHP	-Veículo Elétrico Híbrido Paralelo
VEHPin	-Veículo Elétrico Híbrido <i>Plug-In</i>
VEHS	-Veículo Elétrico Híbrido de Série
VFV	-Veículo em Final de Vida
VOC	-Voz do Consumidor
VWCO	-Volkswagen Caminhões e Ônibus
W	-Watt
WEC	- <i>World Energy Council</i>

# SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE EQUAÇÕES

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>34</b>
1.1 APRESENTAÇÃO DA OPORTUNIDADE .....	34
1.2 JUSTIFICATIVA .....	40
1.3 OBJETIVOS .....	44
1.3.1 Objetivo geral .....	44
1.3.2 Objetivos específicos .....	44
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	45
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>47</b>
2.1 LEGISLAÇÕES .....	47
2.2 DECLARAÇÕES INTERNACIONAIS .....	61
2.3 CERTIFICAÇÕES .....	65
2.4 CICLO DE VIDA E ACV .....	69
2.5 IMPORTÂNCIA DO PROJETO PARA O FINAL DE VIDA AUTOMOTIVO .....	77
2.5.1 Veículo em final de vida .....	80
2.5.2 Composição de material em um automóvel .....	90
2.6 PARÂMETROS PARA O PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE .....	98
2.6.1 Processo de desenvolvimento de produto .....	98
2.6.2 Métodos .....	99
2.7 ESTUDO DOS PROJETOS DE VEÍCULOS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS RECICLÁVEIS NO BRASIL .....	113
2.8 VEÍCULOS MOTORIZADOS PARA COLETA DE RESÍDUOS .....	125
2.8.1 Veículos com motor a combustão: impactos durante a utilização .....	125

2.8.2 Veículos Elétricos: breve histórico e contextualização .....	129
2.8.3 Veículos Híbridos (VEH): transição para a adoção massiva dos veículos elétricos .....	133
2.8.4 Veículos elétricos tripulados para transportes de mercadorias e resíduos...	136
2.8.5 Veículos elétricos não tripulados de carga movidos a puxão .....	140
2.8.6 Principais tecnologias de acumuladores em VEs .....	144
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>148</b>
3.1 ASPECTOS ORGANIZACIONAIS .....	148
3.2 SEQÜÊNCIA DE ATIVIDADES .....	148
3.2.1 Revisão da literatura .....	148
3.2.2 Coleta de dados .....	150
3.2.2.1 Modelo de controle e registro .....	150
3.2.2.2 Incerteza na coleta .....	151
3.2.2.2.1 Processo de transporte .....	151
3.2.2.2.2 Processo de produção .....	151
3.2.2.2.3 Processo de utilização .....	152
3.2.3 Avaliação ambiental .....	153
3.2.3.1 Seleção de materiais .....	154
3.2.3.2 Reciclabilidade .....	155
3.2.3.3 ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) .....	157
3.2.3.3.1 Objetivo e escopo .....	158
3.2.3.3.2 ICV .....	159
3.2.3.3.3 AICV .....	159
3.2.4 Projeto para o meio ambiente .....	159
3.2.5 Interpretação e discussão dos resultados .....	159
3.2.6 Incerteza dos dados e limitações do estudo .....	160
<b>4. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>161</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS DO VEC300 .....	161
4.1.1 Descrição das baterias .....	165
4.1.2 Descrição do motor elétrico .....	169

4.1.3 Descrição da controladora .....	169
4.1.4 Descrição dos pneus .....	170
4.1.5 Descrição dos componentes de matriz metálica ferrosa .....	171
4.1.6 Descrição do “Ecotop” .....	172
4.2 AVALIAÇÃO AMBIENTAL .....	176
4.2.1 Seleção de materiais .....	179
4.2.2 Cálculo da taxa de reciclabilidade .....	180
4.2.3 ACV AMBIENTAL SIMPLIFICADA .....	181
4.2.3.1 Definição do objetivo e do escopo .....	181
4.2.3.1.1 Definição da função, unidade funcional e fluxo de referência .....	182
4.2.3.1.2 Sistema do produto .....	186
4.2.3.1.3 Suposições e limitações .....	190
4.2.3.1.4 Requisitos da qualidade dos dados .....	190
4.2.3.1.5 Obtenção dos dados dos materiais e processos utilizados na manufatura do VEC300 .....	191
4.2.3.2 Inserção dos dados no software de ACV .....	201
4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	203
4.3.1 Seleção de Materiais .....	203
4.3.2 Reciclabilidade .....	203
4.3.3 ACV ambiental simplificada .....	205
4.3.4 Projeto para o meio ambiente .....	214
4.4 DISCUSSÃO .....	218
<b>5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>222</b>
5.1 CONCLUSÃO .....	222
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	224
5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS DIFICULDADES DO ESTUDO .....	225
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>226</b>
<b>APÊNDICE A - MAPEAMENTO ORGANIZACIONAL .....</b>	<b>242</b>
<b>APÊNDICE B - PRODUÇÃO CIENTÍFICA NO PERÍODO 2007-2009 .....</b>	<b>243</b>
<b>ANEXO A - CRONOLOGIA DO VEÍCULO ELÉTRICO .....</b>	<b>247</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO DA OPORTUNIDADE

Um dos maiores desafios enfrentados pelos grandes centros urbanos brasileiros é a coleta e destino ambiental e socialmente menos impactante de resíduos sólidos urbanos recicláveis.

O cenário brasileiro de coleta seletiva municipal apresenta um crescimento de 67 municípios ao ano, se considerar os dados bianuais no período de 2002 à 2008.

De acordo com o Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE, 2009), 405 municípios de um total de 5650 (cerca de 8%) possuíam programas de coleta em 2008 (Figura 1.1).

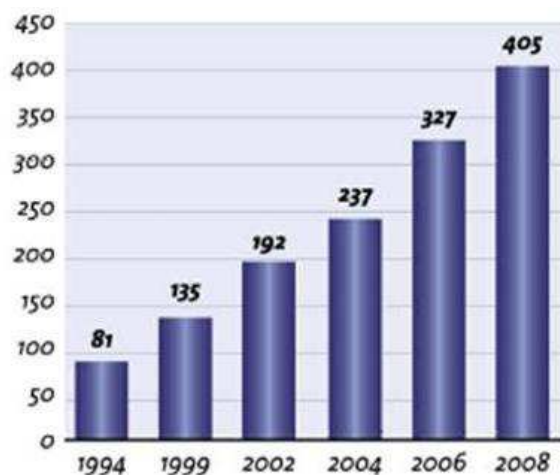


Figura 1.1 - Municípios brasileiros com coleta seletiva de resíduos (CEMPRE, 2009)

Em 2008, a população brasileira atendida pelos programas de coleta seletiva alcançou cerca de 26 milhões, aproximadamente 14% da população total (CEMPRE, 2009).

De acordo com a norma ABNT NBR 10004 (2004), os resíduos sólidos são classificados conforme a origem (Figura 1.2). Esta classificação envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, dos constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (PGRSI, 2006).

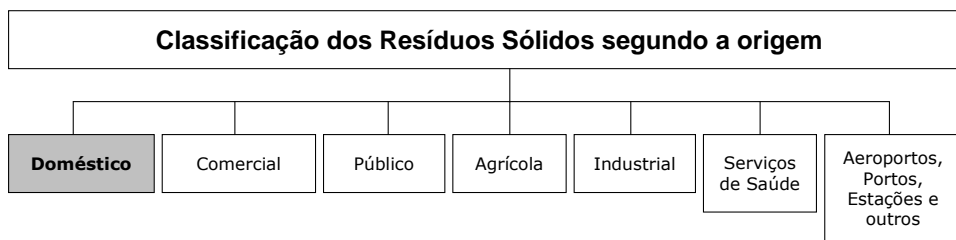


Figura 1.2 - Classificação dos resíduos sólidos conforme a origem (adaptado da ABNT NBR 10004, 2004)

Para este estudo, são abordados os resíduos sólidos urbanos recicláveis de origem doméstica, tais como embalagens plásticas (*i.e.* compostas de polímeros termoplásticos como: polipropileno, polietileno, poliestireno, ABS, policarbonato, entre outros), papéis e metais ferrosos e não ferrosos (*i.e.* como latas alumínio).

A gestão dos resíduos sólidos urbanos recicláveis é considerada um dos setores do saneamento básico, e é composta de quatro fases elementares (Figura 1.3). A primeira aborda a campanha e conscientização para separação dos tipos de resíduos. A segunda, é representada pelos modos de acondicionamento e transporte. A terceira é definida pelos processos de triagem e segregação e a quarta envolve os processos de reciclagem. O processo de transporte de resíduos é identificado em duas etapas: i) do usuário (posto de coleta) até o centro de triagem; ii) do centro de triagem até os recicladores.

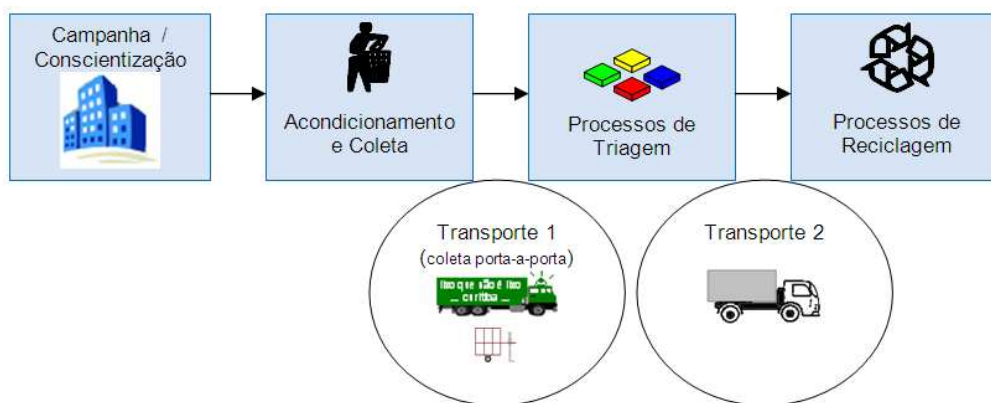


Figura 1.3 - Etapas básicas da gestão de resíduos sólidos urbanos recicláveis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Todas as figuras, tabelas, quadros e gráficos sem indicação explícita da fonte foram produzidas pelo mestrando.



Este trabalho se enquadra na primeira etapa de transporte, associada com a fase de coleta e acondicionamento. Para esta fase, as administrações públicas municipais detêm a responsabilidade direta por tais atividades. No município de Curitiba (PR), estas atividades são realizadas de duas formas facilmente identificáveis: *i)* veículos de empresas terceirizadas pela prefeitura municipal; *ii)* veículos de agentes de coleta (*i.e.* catadores de papel, carrinheiros, autônomos, associados à organizações não governamentais sem fins lucrativos e outros).

A empresa terceirizada conta com caminhões específicos (Figura 1.4) e estão inseridos dentro de um programa que deu continuidade ao programa denominado “Lixo que Não é Lixo”, iniciado em 1989. Este caminhão é classificado pela NBR 9762 (2006) como do tipo baú, com motor à combustão a diesel, capacidade estimada de três toneladas por transporte, com três funcionários, sendo um ocupando a função de motorista.



Figura 1.4 - Exemplo do caminhão do programa da prefeitura de Curitiba (PR)

Já na segunda opção, os agentes de coleta são pessoas que não possuem nível de escolaridade claramente definido ou que possuem apenas o ensino fundamental (UTFPR, 2006). Em geral, pessoas situadas à margem de risco e classificadas na classe E do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A partir de um acordo de cooperação técnica, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) *campus* Curitiba por meio do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC), conduziram uma pesquisa sobre os veículos utilizados pelos agentes de coleta de materiais recicláveis para o desenvolvimento de um protótipo de um veículo de coleta (UTFPR, 2006).

A equipe da UTFPR realizou 94 entrevistas com agentes de coleta por toda a cidade de Curitiba (Figura 1.5), considerando uma amostra da população de agentes

de coleta com 95,5% de confiança nas informações recolhidas e com uma margem de erro de até 10 % para uma população com variação entre 1.500 e 100.000 agentes (UTFPR, 2006).

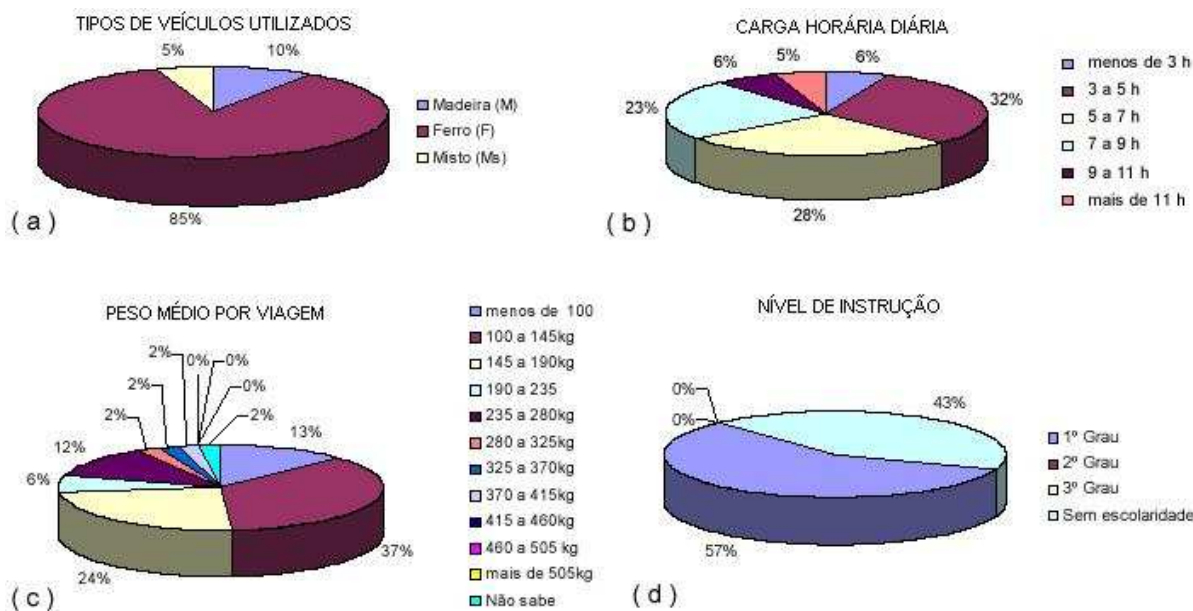


Figura 1.5 - Resultados da entrevista realizada com os agentes de coleta: (a) tipo de carro; (b) horas de trabalho; (c) peso médio carregado; (d) nível de instrução (UTFPR, 2006)

A partir destas entrevistas, tem-se que 85% dos veículos utilizados possuem matriz metálica ferrosa na sua estrutura e carregam, em maior parte, massas que variam de 100 a 145kg (37%), 145 a 190kg (24%), menos de 100kg (13%) e 235 a 280kg (12%). Ainda nesta pesquisa, foi verificado que os agentes de coleta utilizam pequenos veículos de duas rodas, movidos à tração humana e animal, constituídos basicamente de madeira e aço (Figura 1.6).

Um maior detalhamento sobre os aspectos técnicos dos veículos e sobre os demais tipos de veículos utilizados pelos agentes de coleta é apresentado no Capítulo 2.

No aspecto social, o nível de instrução dos usuários é de 57% para aqueles com primeiro grau completo e 43% para os sem escolaridade. A carga horária diária é de 3 a 5 horas (32%), 5 a 7 horas (28%) e 7 a 9 horas (23%). Cerca de 6% trabalha de 9 a 11 horas, 5% mais de 11 horas e 6% menos de 3 horas.



(a) com capota improvisada  
(UTFPR, 2006)



(b) com individualizador de pertences  
(UTFPR, 2006)



(c) fabricado em aço e madeira  
(UTFPR, 2006)



(d) com tração animal (Imagem registrada pelo autor em 23/02/2010 na cidade de Foz do Iguaçu (PR))

Figura 1.6 - Exemplos de veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis

Para Monteiro (2008), uma economia em retração, com redução da oferta de empregos, concentração de atividades econômicas no setor terciário e desativação de frentes de trabalho na construção civil, induz ao desemprego de grande quantidade de pessoas de baixa qualificação profissional, que passam a apelar para qualquer tipo de trabalho que garanta, pelo menos, sua sobrevivência e a da sua família. Com isso, a coleta de resíduos em aterros e nas ruas das cidades, embora seja uma atividade insalubre, é um trabalho alternativo de geração de renda, em zonas rurais e urbanas, cujo cenário se mostra bem comum no Brasil.

De acordo com dados levantados pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana do município do Rio de Janeiro (COMLURB), 87% dos agentes de coleta declararam a coleta de resíduos como sua principal fonte de renda, sendo que 13% declararam nunca ter tido outra ocupação (LIMA e SURLIUGA, 1993).

Com isso, pode-se dizer que as pessoas de menor nível de escolaridade adotam a coleta de resíduos em aterros e nas ruas municipais como uma profissão (CRUZ, 2007).

Apesar desse quadro, a coleta de resíduos é o segmento que mais se desenvolveu dentro do sistema de limpeza urbana e o que apresenta maior abrangência de atendimento junto à população. Ao mesmo tempo, é a atividade do sistema que demanda maior percentual de recursos por parte da municipalidade. Esse fato se deve à pressão exercida pela população e pelo comércio, para que se execute a coleta com regularidade, evitando-se assim o incômodo da convivência com os resíduos nas ruas (MONTEIRO, 2008).

No varejo, uma grande rede mundial de supermercados definiu algumas estratégias no caminho para a sustentabilidade ambiental, econômica e social. Em uma delas, estabeleceu que suas lojas têm poder decisivo na cadeia de suprimentos e considera o ciclo da cadeia de valor para o varejo (Figura 1.7). Esta cadeia possui várias conexões, dentre as quais a que se aplica neste caso é a conexão com a reciclagem, na fase de pós-consumo dos produtos.



Figura 1.7 - Conexões da cadeia de valor do varejo (PARENTE e TRIUS, 2007 *apud* WALMART, 2009)

Aliado com as estratégias de sobrevivência, Cruz (2007) destaca a importância da cooperação no processo de complementação de competências e potencialidades, em que os atores sociais se inserem em múltiplas redes de relações e interações (Figura 1.8).



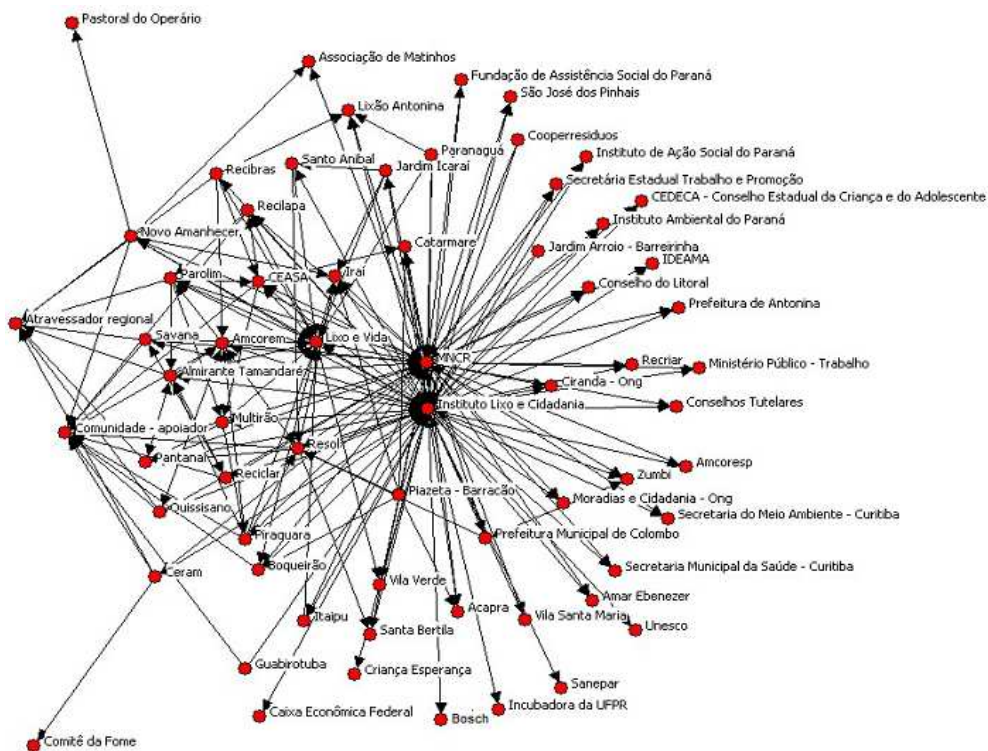


Figura 1.8 - Exemplo de uma rede de cooperação entre os atores da coleta de resíduos (CRUZ, 2007)

Com isso, a participação dos agentes de coleta no recolhimento informal dos resíduos é uma variável facilmente identificável da relação dos resíduos com a questão social, justificando na união de uma parte da população com os resíduos, a condução de uma estratégia de sobrevivência.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Conforme abordado na seção 1.1, a forma mais comum de tração dos veículos utilizados pelos agentes de coleta é por meios humanos e animais. Algumas vezes são utilizados mecanismos mecânicos, como bicicletas, porém dependentes também da força humana.

A adoção de veículos motorizados, além de aumentar a capacidade de carga e aumentar a produtividade no transporte de resíduos, promove o conforto e evita a fadiga do esforço humano por parte dos agentes de coleta.

No entanto, boa parte dos veículos motorizados utilizados se encontram em condições precárias de utilização, as quais colocam em risco não apenas os tripulantes como os demais veículos nos trânsitos de diversas cidades (Figura 1.9).

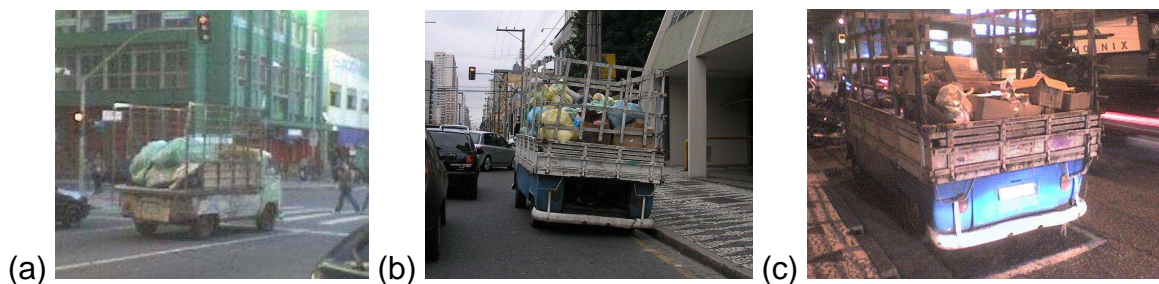


Figura 1.9 - Exemplo de veículo motorizado utilizado por agentes de coleta autônomos no centro de Curitiba (PR): Imagens registradas pelo autor em: (a) 16/05/2009; (b) 30/05/2009; (c) 12/05/2010

Diante disso, a ITAIPU Binacional por meio do Programa de Energias Renováveis, lançou no final de 2007 um veículo elétrico movido a puxão, não tripulado, destinado ao transporte de resíduos sólidos urbanos recicláveis (Figura 1.10).



Figura 1.10 - Veículo em demonstração no Parque Tecnológico Itaipu (ITAIPU, 2008)

Para a implementação do veículo, há a participação da iniciativa privada (por meio de uma indústria brasileira paranaense no papel de fabricante do veículo), da comunidade usuária diretamente envolvida (por meio de agentes de coleta, representados pelo Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis MNCMR) e das prefeituras municipais e governos estaduais (Figura 1.11).

O modelo de gestão está inserido dentro do conceito de economia solidária proposto por Singer (2002), o qual aborda os aspectos de inserção e desenvolvimento social, contribuindo para a geração autônoma de renda e minimização de impactos ambientais (*i.e.* destino inadequado de resíduos sólidos urbanos recicláveis).

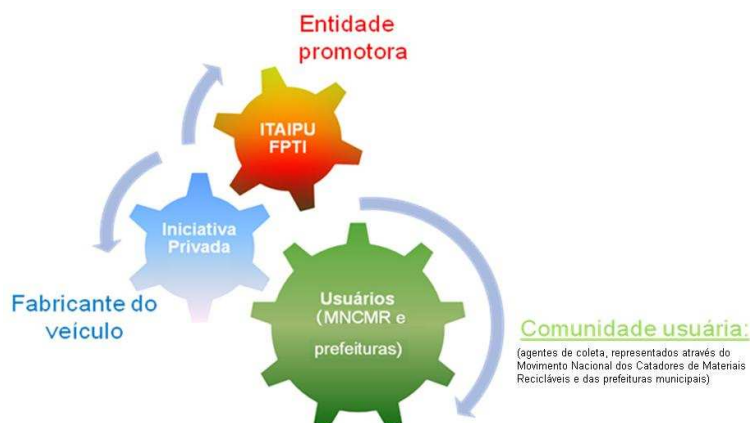


Figura 1.11 - Programa de Geração Distribuída aplicada à utilização de energia elétrica nos VEC300 dos agentes de coleta

Como o projeto tem amplitude nacional, podendo ultrapassar a marca de 20.000 veículos fabricados para atender perto de um milhão de agentes de coleta, o CIH (Centro Internacional de Hidroinformática) relacionado a CER (Centro de Energias Renováveis) da ITAIPIU, desenvolveu uma plataforma de georeferência a partir da base fornecida pelo Google Earth® (Figura 1.12).

Nesta georeferência são indicadas as associações e cooperativas de agentes de coleta cadastradas no MNCMR. A partir disso, é possível promover uma rastreabilidade dos veículos em todo território nacional.

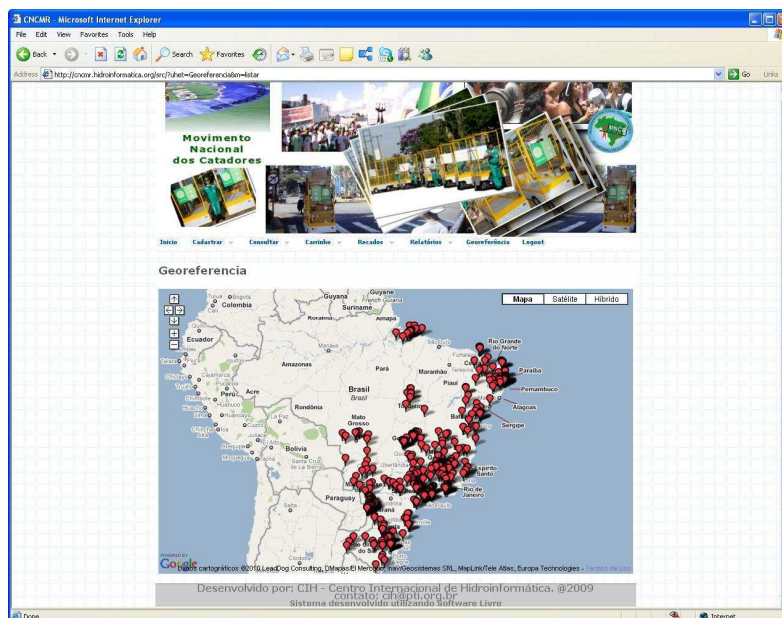


Figura 1.12 - Cadastro das associações e cooperativas dos agentes de coleta (MNCMR, 2010)

Além disso, a proposta de adotar um veículo elétrico para coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis pode ser um exemplo de aplicação do uso da energia elétrica proveniente da adoção de micro-centrais termoelétricas a biogás (ITAIPU, 2007). Este exemplo está relacionado com a aplicação da lei federal nº10.848 de 15/03/2004, a qual prevê a geração e utilização de energia elétrica de forma descentralizada (*i.e.* geração distribuída).

Por outro lado, veículos elétricos também possuem impactos ambientais. Apesar de possuírem eficiência energética nível A (redução nula ou próximo a zero em g/km de CO<sub>2</sub>) durante a fase de utilização se comparados aos veículos de motor à combustão, ambos possuem impactos ambientais significativos quando do final de vida.

Desta forma, uma avaliação ambiental enquadrada nos padrões e diretivas utilizados pela indústria automotiva torna-se pertinente. Dentre as diversas considerações, devem ser destacadas: *i)* a delimitação do uso de materiais tóxicos e nocivos; *ii)* a definição da gestão do final de vida dos componentes (*e.g.* pneus, baterias e outros); *iii)* as facilidades de desmontagem e dissociação de componentes de diferentes materiais; *iv)* a existência de processos de reciclagem em ciclo aberto ou fechado; *v)* os impactos ambientais das diversas fases do ciclo de vida.

A partir de um método de avaliação ambiental em um estudo de caso, espera-se que os projetistas e desenvolvedores interajam com novas práticas e soluções em novos veículos ou reprojeto do modelo existente.



## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

A partir das oportunidades de melhorias nos ciclos de vida dos veículos elétricos de carga, o objetivo do presente trabalho é avaliar ambientalmente um veículo<sup>2</sup> elétrico não tripulado, movido a puxão, utilizado para a coleta de resíduos sólidos urbanos domiciliares recicláveis.

Com isso, pretende-se apresentar sugestões que possam contribuir para a concepção de novos veículos elétricos de carga ou reprojeto de existentes com menores impactos ambientais.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos, que complementam o alcance do objetivo geral, estão detalhados a seguir:

- a) Conhecer os métodos e ferramentas de projeto para o meio ambiente relacionadas a produtos manufaturados industrialmente;
- b) Caracterizar as tecnologias de veículos utilizadas por agentes de coleta (*i.e.* carrinheiros, catadores de papel) no Brasil para a coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis;
- c) Identificar a legislação que envolve o projeto para o final de vida automotivo;
- d) Classificar os veículos elétricos por tipos de tecnologias;
- e) Definir o escopo das fases do ciclo de vida a serem analisadas e os processos relacionados (sistema de produto) do veículo e coletar os dados referentes a estas fases;
- f) Identificar, mensurar e avaliar os impactos ambientais relacionados, gerando a interpretação dos resultados.

---

<sup>2</sup> Este veículo, denominado comercialmente de VEC300, tem suas principais características e etapas sugeridas para a realização da avaliação descritas no Capítulo 4.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está enquadrado na área de pesquisa de engenharia da manufatura (Tabela 1.1) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Tabela 1.1 - Classificação do estudo de mestrado *stricto sensu*

<b>Classificação</b>	<b>Especificação</b>
Área de pesquisa	Engenharia da manufatura
Linha de pesquisa	Desenvolvimento integrado de produto
Área específica	Avaliação do ciclo de vida de produtos

Está organizado em cinco capítulos, ordenados de forma que se possa ter uma visão clara e concisa sobre os assuntos abordados.

No Capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica acerca das legislações existentes, uma visão geral sobre o projeto para o final de vida automotivo, uma abordagem sobre o ciclo de vida e os impactos ambientais, as metodologias de projeto para o meio ambiente, além de um estudo de veículos para coleta de resíduos e tecnologias de veículos elétricos, híbridos e baterias utilizadas.

No Capítulo 3, são apresentados os procedimentos metodológicos, enquanto que no Capítulo 4 é apresentado o estudo de caso, em que são detalhadas as características do VEC300, a avaliação ambiental, a análise dos resultados e a discussão.

No Capítulo 5, são apresentadas as considerações finais e sugestões sobre o trabalho, justificando sua devida importância. A Figura 1.13 apresenta um diagrama com o conteúdo da dissertação.

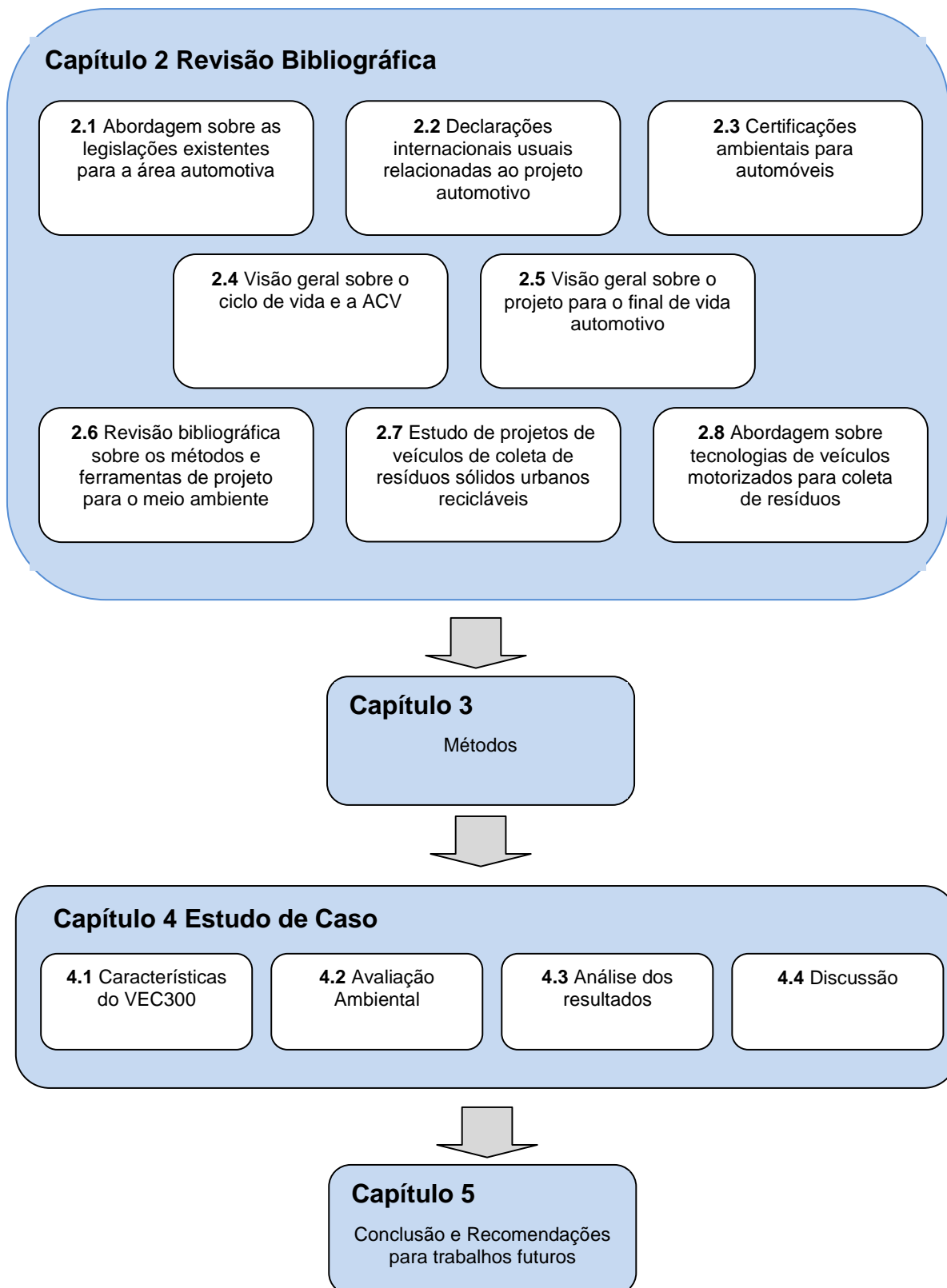


Figura 1.13 - Diagrama do conteúdo da dissertação

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda inicialmente as legislações e certificações pertinentes à área ambiental, no que tange o projeto de automóveis. Em seguida, é apresentada uma abordagem sobre o ciclo de vida de produto, enaltecendo sua importância relacionada ao desenvolvimento de automóveis e os impactos ambientais associados. Em terceiro momento, são apresentados alguns casos de projeto para o final de vida automotivo. Na seqüência, são apresentadas as estratégias, métodos e ferramentas de projeto para o meio ambiente aplicadas no desenvolvimento de produtos. Após, apresenta-se um estudo sobre veículos de coleta de resíduos desenvolvidos com metodologias de projeto e desenvolvimento de produtos, com o intuito de transformar em linguagem de projeto algumas formas em que resíduos sólidos urbanos recicláveis são coletados e transportados em um município do estado de São Paulo e outro do Paraná. Por último, tem-se uma revisão sobre as principais tecnologias existentes de veículos motorizados, assim como as tecnologias de baterias utilizadas.

### 2.1 LEGISLAÇÕES

No mundo as regiões que já possuem iniciativas com legislações específicas para os veículos em final de vida (VFV) são o continente Europeu, mais precisamente com os países membros da União Européia<sup>3</sup>, o Japão e Coreia do Sul na Ásia e os Estados Unidos na América do Norte.

No entanto, o nível de implementação é variado. Na Europa e no Japão, as leis existem desde o ano 2000 e incluem a desmontagem sistêmica dos veículos, enquanto nos Estados Unidos há apenas a obrigatoriedade do destino final, não sendo feita a desmontagem (Figura 2.1).

---

<sup>3</sup> 27 países membros da União Européia: Alemanha, França, Itália, Espanha, Portugal, Holanda, Irlanda, Reino Unido, Bélgica, Luxemburgo, Suécia, Finlândia, Dinamarca, Áustria, Polônia, Estônia, Lituânia, República Tcheca, Grécia, Eslováquia, Hungria, Malta, Chipre, Eslovênia, Letônia, Romênia e Bulgária.



Figura 2.1 - Regiões que possuem legislação específica para a coleta e destino final ambientalmente correto de VFVs: em verde áreas que possuem legislação regulamentada; em amarelo apresenta os Estados Unidos, porém com a participação de apenas alguns estados

No continente europeu, cada país membro da União Européia por meio da comissão e respectivo parlamento, possui diretivas que preconizam a obrigatoriedade dos fabricantes automotivos perante a responsabilidade sobre a reciclagem e valorização dos automóveis em final de vida e dos novos colocados à venda, que devem possuir seus projetos homologados. No entanto, apesar da Suíça e da Noruega estarem no continente oeste europeu, e não integrarem a União Européia em termos políticos, estes países também possuem leis específicas para a gestão do final de vida dos veículos. A Tabela 2.1 mostra uma correlação entre as diretivas citadas.

Tabela 2.1 - Legislações européias existentes que envolvem o final de vida de automóveis

Nome	Lei homologação reciclagem	Lei de veículos fora de uso / em final de vida (VFV)
<b>Código</b>	2005/64/CE	2000/53/CE
<b>Escopo</b>	Veículo novo	Veículo existente
<b>Abrangência</b>	Comunidade Européia	Comunidade Européia
<b>Previsão para implementação (ano)</b>	2008	(v) 2006 - (r) 2015
<b>Taxa de Valorização (v)</b>	95%	(v) 85% - (r) 95%
<b>Taxa de Reciclabilidade (r)</b>	85%	(v) 80% - (r) 85%

Para o caso dos automóveis existentes ou veículos em final de vida (*i.e.* fora de uso, que perderam a função para o usuário), as metas da diretiva número 53 de

2000 da Comunidade Européia (2000/53/CE) em 2006 eram de 85% para valorização<sup>4</sup> e de 80% para reciclabilidade<sup>5</sup>. Para 2015 estes valores deverão aumentar para 95% e 85%, respectivamente.

Já para o caso de veículos novos colocados no mercado, a diretiva número 64 de 2005 da Comunidade Européia (2005/64/CE) que aborda a homologação de novos veículos, preconiza que além do novo veículo possuir partes, acessórios e componentes reciclados (*i.e.* provenientes de um processo de reciclagem), este deve ser capaz de ser reciclado em final de vida (*i.e.* existência de processos de reciclagem). As taxas de valorização e reciclabilidade neste caso eram de 95% e 85% respectivamente, para o ano de 2008.

Em ambas as diretivas são solicitadas a existência de um programa claramente traçado, que permita a rastreabilidade do veículo em final de vida, que inclua as etapas de coleta, desmontagem sistêmica e reciclagem dos componentes (GERRARD e KANDLIKAR, 2006 e SMINK, 2006). O exemplo apresentado na Figura 2.2 ilustra as principais etapas.

Com uma taxa de coleta de cerca de 14 milhões de veículos por ano no continente Europeu (BIR, 2010), uma ampla rede foi criada para possibilitar a coleta, o controle de documentação, o transporte, a desmontagem e a destruição final. Além disso, laudos de produtividade devem ser declarados publicamente, considerando as quantidades de veículos tratados e os valores em massa das toneladas de matérias-primas secundárias geradas, quando utilizado trituradores, e das massas dos materiais enviados para tratamento, co-processamento e geração de energia (*i.e.* valorização energética).

---

4 **Valorização:** quantidade de material do produto que foi reciclado e é potencialmente inserido no ciclo de produção do mesmo produto (ABNT NBR ISO 14050, 2004).

5 **Reciclabilidade:** quantidade de ciclos que um determinado material é passível de reciclagem sem perder as funções de utilização. Expressa normalmente por meio de um índice (ABNT NBR ISO 14050, 2004).

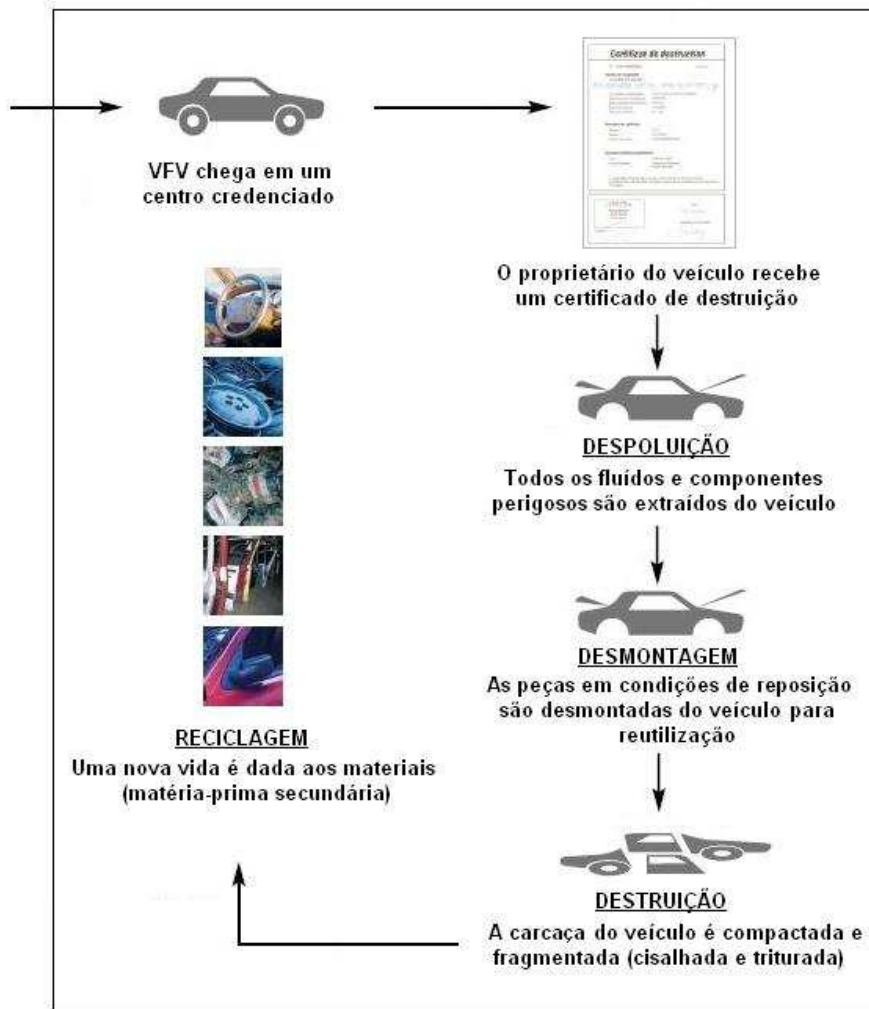


Figura 2.2 - Exemplo gráfico de como funciona a gestão dos VFVs na Europa (FEBELAUTO, 2009)

O consumidor não paga diretamente para enviar o veículo para estes centros. Para isso, em vários casos, os fabricantes automotivos estão considerando um bônus ambiental na hora da comercialização de novos veículos (Figura 2.3) como forma de sensibilizar o consumidor para entrega do veículo usado nos centros credenciados (concessionárias, centros de desmontagem e centros de reciclagem).



(a) Opel Corsa (L'Est-Éclair, 2009)



(b) Citroën C3 (L'Équipe, 2009)

Figura 2.3 - Exemplos de aplicação de bônus ambiental na compra de um novo veículo, com a entrega do veículo usado: ambos com bônus de 700 Euros na compra, ilustrados em jornais na França em dezembro 2009

De acordo com Autokierratys (2009), um reciclador finlandês, as estimativas de materiais recuperados são em torno de 75,5% para metais, 19% para orgânicos e 5,5% para outras categorias (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Média de conteúdo de material de um VFV em um reciclador finlandês (adaptado de AUTOKIERRATYS, 2009)

Metais		Orgânicos		Outros	
Folha de aço	41%	Plásticos	9,1%	Vidros	2,8%
Aço	18%	Borrachas (elastômeros)	6%	Líquidos	0,8%
Ferro fundido	7%	Têxteis	0,9%	Misturados	1,9%
Aço inoxidável	1%	Colas, tintas	3%		
Alumínio	7%				
Zinco, Cobre e Chumbo	1,5%				
Total	75,5%	Total	19%	Total	5,5%

Estes dados ilustram o potencial de reciclagem para os materiais, contribuindo para um menor consumo energético no ciclo total, evitando a extração de materiais primários, reduzindo os impactos de emissões, favorecendo a engenharia de novos veículos com materiais de fonte secundária e fortalecendo a rede de comunicação entre os agentes econômicos envolvidos, além de tornar o continente oeste europeu uma referência internacional na gestão dos VFVs.

Na Ásia, o Japão possui uma sistemática, adotada desde o ano 2000, para a gestão dos veículos em final de vida que inclui a definição de uma taxa a ser paga pelo consumidor no ato da compra. Esta taxa subsidia toda a gestão dos VFVs, além





Na América do Norte, os Estados Unidos possuem uma lei específica para a coleta de componentes automotivos que contém metais pesados, tais como o mercúrio. Por meio de um programa nacional para recuperação dos componentes automotivos de mercúrio, chamado NVMSRP (i.e. *National Vehicle Mercury Switch Recovery Program*) foi criada a ELVS (i.e. *End of Life Vehicle Solutions*), uma associação sem fins lucrativos, formada por alguns fabricantes automotivos e recicladores automotivos para criar programas de gestão dos VFVs por estado (Figura 2.5).

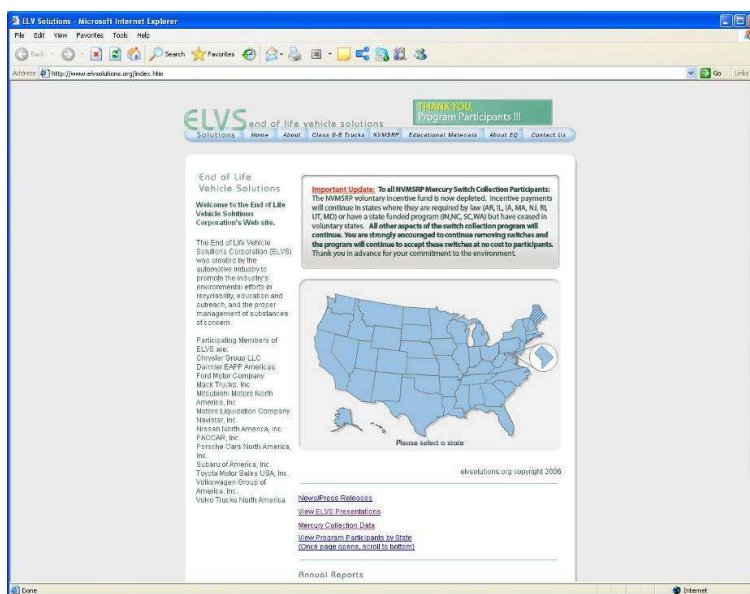


Figura 2.5 - Portal disponível na Internet: o ELVS norte-americano (ELVS, 2009)

Dentre os estados com melhores índices de coleta e reciclagem por período (sem considerar a desmontagem), podem-se citar em ordem decrescente: Califórnia, Nova Iorque, Wisconsin e Carolina do Norte. Maine e Iowa também possuem iniciativas, apesar dos índices ainda não serem compatíveis com os demais estados.

A particularidade é que nos Estados Unidos os veículos em final de vida não são desmontados, como acontece na Europa e no Japão. Após chegarem aos centros de desmontagem, são compactados e enviados para grandes trituradores ou então enterrados.

Um caso bem específico é apresentado por Paine (2006) no filme Quem matou o carro elétrico? (“*Who killed the electric car ?*”), em que é ilustrada a particularidade do destino final de veículos elétricos (e.g. Chevrolet EV1) em 2005 no estado norte-americano da Califórnia. Lá, após longa pressão dos produtores de

petróleo e da própria falta de interesse nas políticas governamentais, a GM-Chevrolet recolheu toda a frota de veículos elétricos EV1 e os enterrou (Figura 2.6).



Figura 2.6 - Veículos elétricos Chevrolet EV1 prestes a serem enterrados (PAINE, 2006)

No caso da América do Sul, há um cenário diferente em relação ao dos países da União Europeia e Japão. A idade da frota é estendida a praticamente o dobro da prevista na Europa. Em outras palavras, enquanto um veículo europeu é projetado para durar de oito a doze anos, no Brasil estes números passam de vinte (LAZZARI e MONICH, 2008 e UGAYA, 2005).

Com a promulgação da Lei Brasileira de Crimes Ambientais (Lei Federal nº 9605 de 12/02/1998), a preocupação ambiental nas empresas tornou-se uma realidade emergente. Em conjunto com esta lei, existem várias outras leis federais, estaduais e municipais que tratam especificamente dos resíduos sólidos. Como exemplos têm-se a Portaria Ministerial nº53 de 01/03/1970, que trata da disposição dos resíduos sólidos, a Lei Estadual nº12.493 de 22/01/1999, que estabelece critérios para a destinação dos resíduos sólidos no estado do Paraná e a política nacional de resíduos sólidos que ainda está em discussão (MARQUES, CZIULIK, CRUZ, 2002, p.2 *apud* MARQUES, 2004) e que não inclui os VFVs.

Além dos problemas de resíduos gerados com os veículos em final de vida, é comum verificar pelas ruas veículos em circulação sem condições de uso, que podem promover acidentes, uma realidade tanto brasileira (Figura 2.7) quanto presente em outros países da América do Sul, como na Argentina (Figura 2.8).



(a) VW Kombi (veículo utilitário de uso bastante comum, ano de fabricação estimado 1970) e GM Chevette (veículo particular de passeio, ano de fabricação estimado em 1978-1982), imagens registradas pelo autor em maio 2009 na cidade de Santo Antônio da Platina, no oeste do Estado do Paraná



(b) Ford Belina (veículo particular de passeio, ano de fabricação estimado em 1978), imagens registradas pelo autor em março de 2010 na cidade de Curitiba, capital do Estado do Paraná

Figura 2.7 - Veículos de fabricação brasileira em circulação sem condições de uso



(a) Renault 12 (ano de fabricação estimado 1975)



(b) Citroën 3CV (lendário veículo em intensa circulação, ano de fabricação estimado 1970)

Figura 2.8 - Veículos de fabricação argentina em circulação sem condições de uso: imagens registradas pelo autor em dezembro de 2006, na cidade de Corrientes, na Argentina

Estudos apresentados por Lazzari e Monich (2008), Lazzari e Ugaya (2009), Medina e Naveiro (2009) ilustram com maior detalhe os principais cenários e fatores dos veículos (automóveis) em final de vida no Brasil.

A resolução CONTRAN nº297 de 21 de novembro de 2008, que é válida em todo território brasileiro a partir de agosto de 2009, estabelece o relatório de avarias para a classificação dos danos decorrentes de acidentes e os procedimentos para a regularização ou baixa dos veículos.

No artigo 2º, é preconizado que deve ser utilizada uma classificação proveniente à lavratura do Boletim de Ocorrência de Acidente de Trânsito (BOAT), na qual o agente fiscalizador de trânsito deve avaliar o nível dos danos sofridos pelo veículo, enquadrando-o em uma das seguintes categorias:

a) Danos de pequena monta: quando o veículo sofre danos que afetam peças externas e/ou peças mecânicas e estruturais, e que, quando substituídas ou recuperadas, permitem que o veículo volte à circular sem requerimentos adicionais de verificação;

b) Danos de média monta: quando o veículo sofre danos em suas peças externas, peças mecânicas e estruturais, e que, quando substituídas ou recuperadas, permitem que o veículo volte à circular após a realização de inspeção de segurança veicular e a obtenção do Certificado de Segurança Veicular (CSV);

c) Danos de grande monta: quando o veículo sofre danos em suas peças externas, peças mecânicas e estruturais que o classifiquem como veículo irrecuperável.

Estes danos devem ser listados de acordo com uma planilha específica ilustrada na Figura 2.9.



Relatório de Avarias para Classificação de Danos - PMG													
Veículo:							Placa:						
Nome Policial:							N.º BOAT:						
RE:							Data:						
Item	Valor	SIM	NÃO	ND	Item	Valor	SIM	NÃO	ND				
1 Teto	1				26 Longarina traseira esquerda	3							
2 Capô	1				27 Caixa de Roda traseira esquerda	3							
3 Painel dash	3				28 Assolho porta-malas / Assolho caçamba	1							
4 Painel dianteiro	1				29 Caixa de Roda traseira direita	3							
5 Quadro / Suporte do motor	2				30 Longarina traseira direita	3							
6 Longarina Completa / Caixa de roda esq.	3				31 Chassi porção traseira (veículos carga)	3							
7 Longarina Parcial / Avental esquerdo	1				32 Suspensão traseira direita	2							
8 Chassi porção dianteira (veículos carga)	3				33 Lateral traseira direita	1							
9 Para-lama dianteiro esquerdo	1				34 Coluna traseira externa direita	1							
10 Suspensão dianteira esquerdo	2				35 Coluna traseira externa e estrutura direita	3							
11 Coluna dianteira externa esquerda	1				36 Porta traseira direita	1							
12 Coluna dianteira externa e estrutura esq.	3				37 Coluna central externa direita	1							
13 Porta dianteira esquerda	1				38 Coluna central externa e estrutura direita	3							
14 Soleira externa esquerda	1				39 Soleira externa direita	1							
15 Soleira externa e estrutura esquerda	3				40 Soleira externa e estrutura direita	3							
16 Assolho central esquerdo	3				41 Assolho central direito	3							
17 Coluna central externa esquerda	1				42 Porta dianteira direita	1							
18 Coluna central externa e estrutura esq.	3				43 Coluna dianteira externa direita	1							
19 Porta traseira esquerda	1				44 Coluna dianteira externa e estrutura direita	3							
20 Coluna traseira externa esquerda	1				45 Para-lama dianteiro direito	1							
21 Coluna traseira externa e estrutura esq.	3				46 Suspensão dianteira direito	2							
22 Lateral traseira esquerda	1				47 Longarina completa / Caixa de roda Dir.	3							
23 Suspensão traseira esquerdo	2				48 Longarina parcial / Avental direita	1							
24 Tampa traseira	1												
25 Painel Traseiro / divisor	1												
Total (A)					Total (B)					Total Geral (A+B)			
NÃO PONTUÁVEIS					MONTA								
49 Air Bag Motorista	0				Pequeno - até 20 pontos. Médio - de 21 a 30 pontos. Grande - 31 pontos ou superior.								
50 Air Bag Passageiro	0												
51 Air Bag Lateral	0												
52 Local de gravação do VIN	0												
Observações:													
<p>A classificação da peça deve ocorrer para dano mecânico e térmico na mesma proporção de pontuação. Quando a peça estiver danificada, transferir o número que estiver na coluna valor para a coluna pontos. Caso a peça não esteja danificada ou não exista preencher com um "X" a coluna NÃO</p>													
LEGENDA													
SIM = Item danificado    NÃO = Item não danificado/Não Existente    ND = Item que não foi possível definir o dano													

Figura 2.9 - Relatório de avarias para classificação de danos (CONTRAN, 2008)

Além disso, uma reflexão sobre a quantidade de veículos comercializados e a taxa de veículos que chegam ao final de vida é pertinente. No Brasil, grande parte destes possui um grande potencial para a reciclagem e poderiam contribuir com a diminuição do impacto da geração de resíduos (LAZZARI e MONICH, 2008).

Na Figura 2.10, Ugaya (2005) apresenta que para uma quantidade máxima de veículos produzidos até 1997, com o valor estimado em um milhão de toneladas, o melhor caso para a renovação da frota estaria entre 450 e 500 mil toneladas e o pior caso estaria entre 700 e 800 mil toneladas, os quais poderiam ser aproveitados em um cenário de renovação da frota nacional, caso existisse.

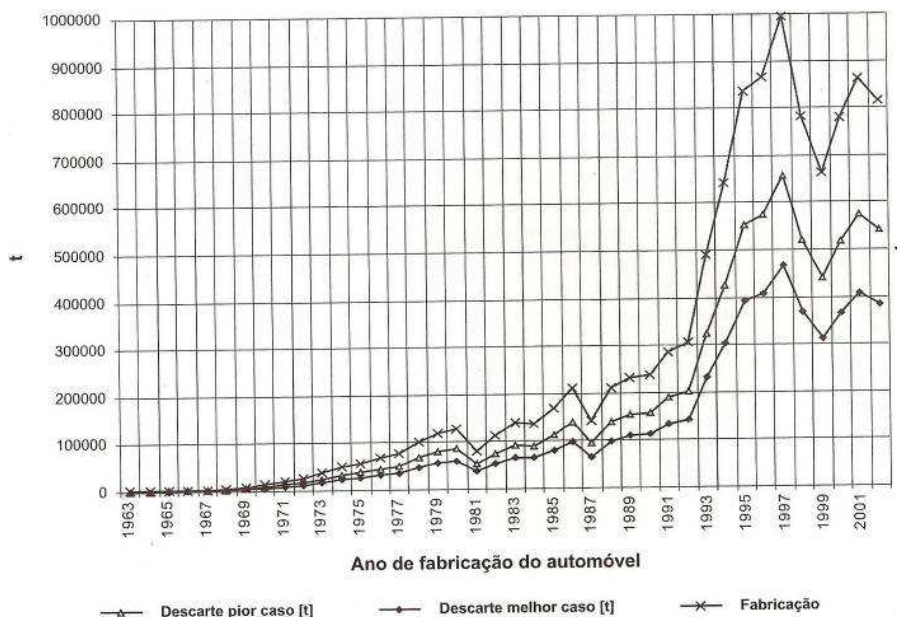


Figura 2.10 - Geração de resíduos sólidos na fabricação e descarte de automóveis (UGAYA, 2005)

Diante disso, um projeto de Lei Federal nº2796 de 2003, de autoria do Deputado Federal Adelor Vieira, propôs a substituição da frota nacional de veículos de passeio por meio do estabelecimento de um Programa Nacional de Renovação e Reciclagem da Frota de Veículos Automotores.

A partir de adesão voluntária, que incluiria a participação do governo federal, usuários e fabricantes automotivos, este programa renovaria a frota existente considerando veículos pelo tipo e ano de fabricação: num primeiro caso, carros populares e vans com mais de quinze anos e, em segundo caso, caminhões e ônibus, com idade igual ou maior que 20 anos. Após um período de três anos, estas metas seriam reduzidas para 10 e 15 anos para ambos os casos, respectivamente.

As obrigações teriam dois atores principais, ou seja, de um lado o governo federal e do outro os fabricantes. Enquanto o governo federal atuaria na provisão de créditos e linhas de financiamento com baixas taxas para os usuários consumidores e na redução da taxa de Imposto sobre Produto Industrializado (IPI), os fabricantes automotivos seriam responsáveis pela coleta e atestação de inutilização do veículo, por meio de uma declaração técnica, e também pela implantação de Centros de Reciclagem de Veículos (CRVs), em acordo com as leis e licenciamento ambientais vigentes.

Outra sugestão legislativa é proposta pelo Sindicato dos Metalúrgicos do ABC, situado no estado de São Paulo (SP). Este sindicato propõe que as obrigações

do governo federal não devem ser avaliadas somente pelo congresso federal, mas por grupos de outras áreas. Para isso, em 2004, o sindicato apresentou um projeto que também propunha a renovação da frota e reciclagem de veículos (PORTAL SINDICAL DOS METALÚRGICOS DO ABC, 2004). Nas esferas estaduais, ainda não consta legislação específica que aborde o tema dos VFVs.

A Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) sugere um programa para coleta dos VFVs e renovação da frota nacional (Figura 2.11). Assim como o projeto de Lei Federal nº 2796/2003, sugere uma espécie de bônus como contrapartida para a troca do veículo em final de vida por um veículo novo, o tamanho da frota se mantém, o que ainda continuaria provocando emissões atmosféricas significativas.

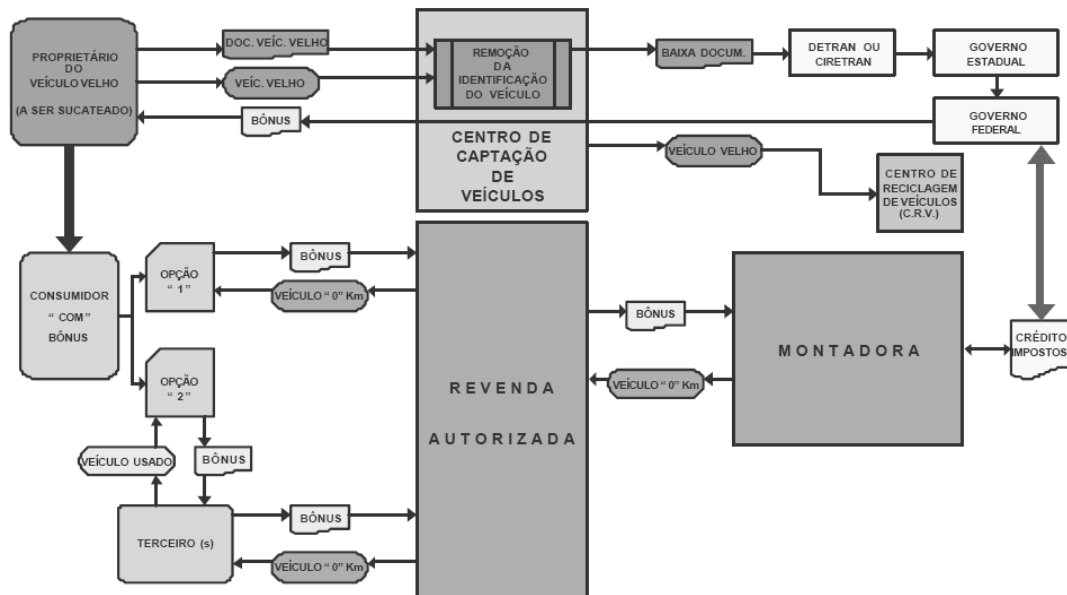


Figura 2.11 - Proposta para renovação da frota de automóveis brasileira (ANFAVEA, 2004)

Além destas leis e iniciativas, veículos elétricos de pequeno porte (*i.e.* bicicletas elétricas e veículos de passeio em campos esportivos como os de golfe e futebol) são considerados produtos elétricos e eletrônicos, por possuírem baterias tratativas com baixas massas.

A Diretiva número 96 de 2002 da Comunidade Européia (2002/96/CE) considera este tipo de veículo, quando em final de vida e em virtude da bateria e eletrônica embarcada, como um resíduo de equipamento elétrico e eletrônico (*i.e.* R3E ou REEE, comercialmente conhecido no Brasil como “lixo tecnológico”), e



define procedimentos específicos para estes produtos quando descartados pelo usuário.

Baseada na mesma classificação, a Diretiva número 95 de 2002 da Comunidade Europeia (2002/95/CE), também conhecida como diretiva RoHS (*i.e. Restriction of Hazardous Substances*), que limita o uso de substâncias perigosas (*i.e. aquelas que contêm metais pesados e nocivos a saúde humana, tais como chumbo, mercúrio e cádmio*), impõe procedimentos específicos para o projeto de produtos elétricos e eletrônicos que venham a possuir este tipo de material.

Em particular, esta também é aplicada pela indústria automotiva, quando se trata da aplicação de elementos como o cromo hexavalente, que até então era aplicado nas pinturas de latarias, do mercúrio utilizado em lâmpadas, além de outros metais pesados utilizados nos escapamentos, em sensores e demais partes de eletrônica embarcada no automóvel.

Na fase de utilização, os fatores que causam os impactos ambientais são provenientes das emissões relacionadas aos motores a combustão antigos (*i.e. com mais de 15 anos*), que emitem monóxidos e dióxidos de carbono, enxofre e nitrogênio em escalas cada vez maiores, em virtude da tecnologia e condições de manutenção, e se constituem em um dos principais agentes contribuintes para a poluição atmosférica local (UGAYA, 2005).

No mundo há diversas legislações com metas específicas para a redução da poluição atmosférica. Cerca de 50 países possuem programas de inspeção veicular.

No Brasil, o controle das emissões veiculares e das inspeções de veículos, quanto às emissões atmosféricas e de ruídos são definidas pelas resoluções nº07 de 1993 e nº256 de 1999 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) além do Artigo 104 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) que preconiza:

*Os veículos em circulação terão suas condições de segurança, de controle de emissão de gases poluentes e de ruído avaliadas mediante inspeção, que será obrigatória, na forma e periodicidade estabelecidas pelo CONTRAN para os itens de segurança e pelo CONAMA para emissão de gases poluentes e ruído (CTB, 1997).*

Desde 1997, o Rio de Janeiro é o estado pioneiro na implantação de um programa de inspeção e manutenção de veículos, baseado nas exigências das respectivas resoluções a nível federal (CONAMA e Código de Trânsito Brasileiro).

Por meio de um convênio de cooperação técnica entre a FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente) atual INEA (Instituto Estadual do Ambiente), do Rio de Janeiro, e o DETRAN estadual, são realizadas ações de controle nas emissões veiculares em 44 postos, sendo 19 na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, 21 no interior do estado e quatro volantes.

Já no município de São Paulo, cuja frota está em torno de seis milhões de veículos em circulação (motocicletas, automóveis, ônibus e caminhões) há um programa criado em 2008 chamado de Inspeção Ambiental Veicular, que atua na inspeção e manutenção de veículos em uso e é definido por leis municipais, bem como, pelas resoluções de nível federal utilizadas no estado do Rio de Janeiro.

Com isso, o governo deste município implementou centros credenciados para a vistoria dos veículos, os quais medem as emissões de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrocarbonetos (HC) nos veículos a gasolina, álcool ou gás natural. Nos veículos a diesel, é medida a emissão de material particulado (MP). Os centros para vistoria incluem a aplicação de tecnologias estrangeiras para avaliação das emissões e as empresas são contratadas a partir de licitações públicas.

Todavia, a abordagem sobre as emissões atmosféricas de veículos a combustão não são abordados neste estudo e, portanto, não se torna pertinente o detalhamento em função da grande variedade de parâmetros que são exigidos nesses controles.

## 2.2 DECLARAÇÕES INTERNACIONAIS

Por meio da plataforma IDIS (*International Dismantling Information System* ou Sistema Internacional de Informação de Desmontagem, Figura 2.12), é disponibilizada uma base de dados internacional que inclui fabricantes de automóveis da Europa, Estados Unidos, Japão, Coreia e Malásia. Com ela, é realizada a declaração de substâncias perigosas existentes em um automóvel (IDIS, 2009).

Trata-se de uma base de dados que conecta mais de 60 marcas (cerca de 25 européias) de automóveis e está disponível em 27 idiomas, 34 países, provendo uma gama de 51 áreas de informações e aproximadamente 700 modelos de automóveis registrados e mais de 1460 combinações.

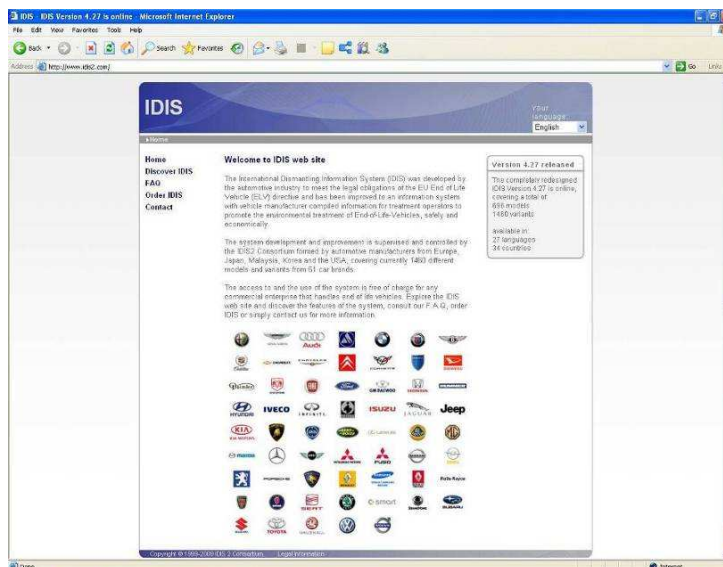


Figura 2.12 - Excerto da página inicial da *home page* na Internet da Plataforma IDIS (IDIS, 2009)

Este sistema foi concebido para prover facilidades de tratamentos com informações adicionais de desmontagem visando às melhores práticas possíveis em termos ambientais no final de vida útil dos automóveis. Esta informação permite a identificação de vários componentes e materiais, bem como a localização de todas as substâncias consideradas perigosas existentes nos automóveis, em particular visando o tratamento destas, ou seja, o controle sobre a destinação final.

Os dados da versão 4.28 são classificados por áreas de informação tais como: baterias, pirotécnicos, combustíveis, sistemas de ar condicionado, componentes de drenagem, catalisadores, partes controladas para serem removidas, pneus, outros pré-tratamentos e desmontagem. A Figura 2.13 apresenta um exemplo desta classificação.

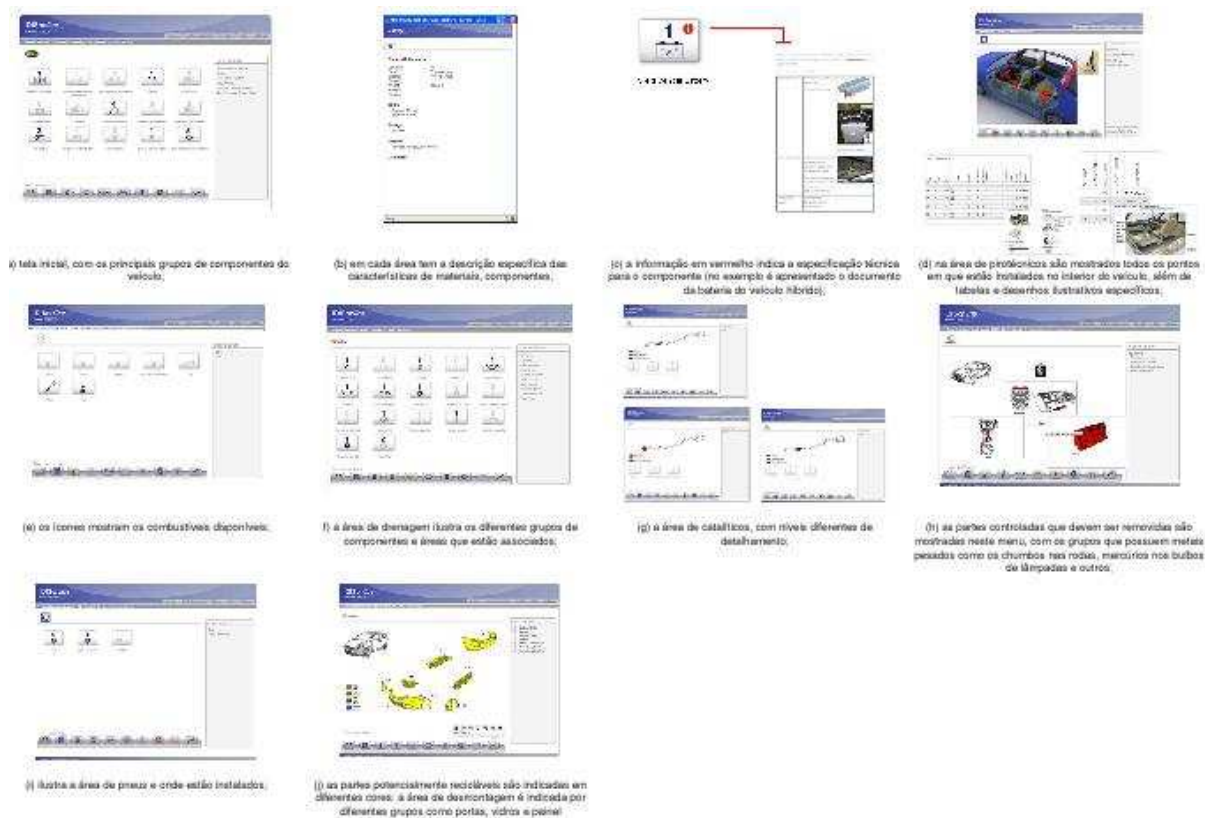


Figura 2.13 – Excertos do *tour* guiado da disposição dos dados referente à classificação das áreas (IDIS, 2009)

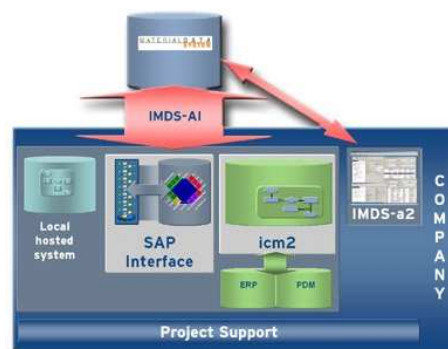
Uma outra plataforma internacional também utilizada para declaração de substâncias é a IMDS (*International Material Data System*) (IMDS, 2009), que é baseada no padrão do Conselho de Química dos Estados Unidos (*American Chemistry Council*), no GADSL (*Global Automotive Declarable Substance List*), e na norma alemã VDA 232-101 (que preconiza a lista de declaração de materiais na manufatura automotiva).

O IMDS foi desenvolvido pela EDS *Operations Services GmbH*, operado a partir de 2009 pela HP *Hewlett-Packard GmbH*, e fundada pelos fabricantes Audi, BMW, Daimler, Ford, Opel, Porsche, VW e Volvo. Também inclui fabricantes coeranos, japoneses, chineses e americanos.

Nesta plataforma (Figura 2.14), todos os materiais utilizados pelos fabricantes automotivos cadastrados são arquivados e mantidos numa folha de dados (*i.e. data sheet*), a fim de associar as exigências legislativas e normativas, nacionais e internacionais para cada sede em que o fabricante possui nos cinco continentes.



(a) página inicial do sistema *on-line*



(b) exemplo de comunicação dos dados

Figura 2.14 - Excerto da *home page* na Internet da Plataforma IMDS (IMDS, 2009)

Na plataforma, todos os componentes podem ser declarados, incluindo as substâncias que devem ser obrigatoriamente declaradas e as substâncias restritas (exigidas pelas legislações específicas). Estas declarações auxiliam na fase de projeto de produto. O objetivo é contribuir para a otimização da declaração de substâncias, para o nível de 95% de reciclagem previsto para 2015.

As declarações nas plataformas IDIS e IMDS são seguidas em geral pela indústria automotiva brasileira, pelo fato das montadoras serem sobretudo de origem externa (MEDINA e NAVEIRO, 2009).

Além disso, Rodrigo et al. (2009) afirmam que para atender a Diretivas Europeias, é fundamental considerar a inclusão das características de desmontagem

dos componentes elétricos e eletrônicos no projeto de produto automotivo a partir da aplicação de uma metodologia quantitativa para acessar os potenciais de reciclabilidade, reusabilidade e reutilização, a qual é composta de seis etapas:

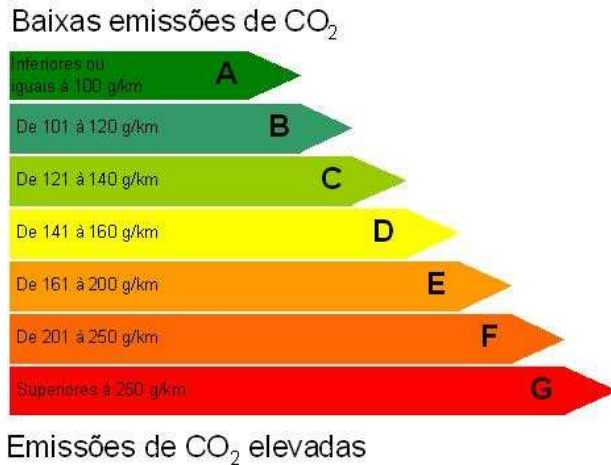
- a) Caracterização do produto;
- b) Aplicação da ISO 22628 (2002) para o cálculo do potencial de reciclabilidade e recuperação, com a mensuração das taxas, dos indicadores de transformação de massa em indicadores de custos e tecnologias de reciclagem existentes;
- c) Necessidade de um primeiro nível de desmontagem;
- d) Primeira desmontagem;
- e) Necessidade do segundo nível de desmontagem.

Esta metodologia faz parte das ações realizadas pelo SEES Europeu (*Sustainable Electrical and Electronic System for the Automotive Sector*, Sistema para a Eletrônica e Elétrica Sustentáveis do Setor Automotivo), um órgão que atua no apoio à pesquisa e desenvolvimento de novas formas de atuação no final de vida dos componentes elétricos e eletrônicos utilizados em automóveis.

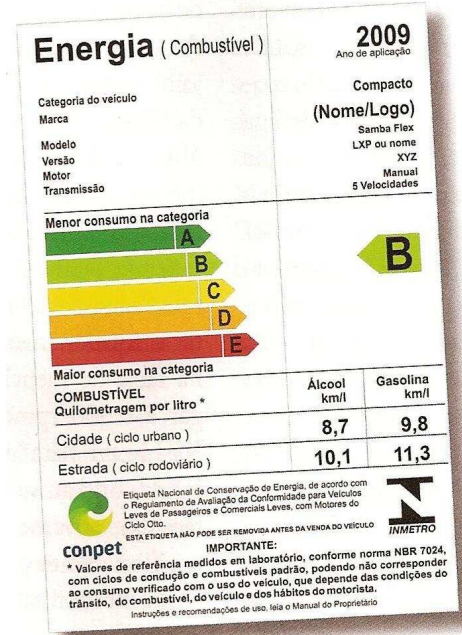
### 2.3 CERTIFICAÇÕES

Um dos modelos de certificação internacional utilizado para o controle da eficiência energética a partir de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), é encontrado de forma obrigatória nos Estados Unidos, Japão e China e de forma voluntária na Europa, Austrália e Canadá.

O Brasil iniciou um programa semelhante de caráter voluntário em 2009 (MARQUES, 2009). Este modelo (Figura 2.15) apresenta o consumo de CO<sub>2</sub> a partir de 100 gramas por quilômetro percorrido (100 g/km). Os veículos considerados “verdes” encontram-se nas faixas A e B, ou seja, com emissões até 100 e de 101 à 120 g/km, respectivamente. Os piores índices incluem as faixas F, com emissões de 201 à 250 g/km, e G, com emissões acima de 250 g/km.



(a) Níveis de emissões de CO<sub>2</sub> por veículos com motor à combustão (adaptado de ADEME, 2010)



(b) Modelo brasileiro para certificação de eficiência energética de veículos com motor à combustão (MARQUES, 2009)

Figura 2.15 - Exemplos de certificação de eficiência energética para veículos

Por meio da resolução federal número 18 de 1986 do Código Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº.18/1986), a qual estabelece o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e tem como objetivo a redução dos níveis de emissões de poluentes nos veículos automotores e é utilizado como referência e sucedida por várias outras resoluções, para a classificação das emissões atmosféricas da frota nacional.

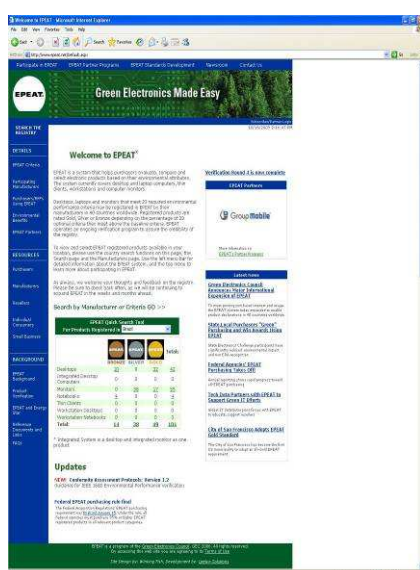
Todavia, estes dados consideram somente a fase de uso e não definem durante quanto tempo o veículo seria utilizado (*i.e.* duração de vida) e tão pouco os demais dados de emissões de CO<sub>2</sub> durante as demais etapas do ciclo de vida.

Esta classificação também não considera os resíduos gerados a partir de lubrificantes, baterias e demais componentes substituídos durante a fase de uso, nas manutenções necessárias, assim como não considera a existência de serviço para o final de vida e destinação dos veículos em final de vida (*i.e.* manual de envio do veículo, rastreabilidade, procedimentos de desmontagem, entre outros).

Paralelamente, existem certificações de projetos de produtos verdes (*i.e.* produtos ambientalmente corretos ou com baixos impactos ambientais), tais como produtos de informática. Estes produtos são certificados por meio da norma IEEE



1680 (2006), a qual emite um selo ambiental chamado EPEAT (*Environmental Assessment of Personal Computer Products*, Avaliação Ambiental de Produtos relacionados a computadores pessoais) de acordo com oito categorias. Estas são desmembradas em 53 critérios de avaliação, sendo 23 obrigatórios, que incluem as diretivas anteriormente mencionadas, a incorporação dos conceitos de projeto para a desmontagem, a disponibilização de serviços de *take-back* para o consumidor, a emissão de relatórios de sustentabilidade, o projeto para a reciclagem (com imposição de taxas de reciclabilidade e valorização) e o projeto para a embalagem (Figura 2.16).



(a) Home page disponível na Internet

EPEAT Quick Search Tool  
For Products Registered in

	 BRONZE	 SILVER	 GOLD	Totals
Desktops	10	0	32	42
Integrated Desktop Computers	0	0	0	0
Monitors	0	38	17	55
Notebooks	4	0	0	4
Thin Clients	0	0	0	0
Workstation Desktops	0	0	0	0
Workstation Notebooks	0	0	0	0
<b>Total:</b>	<b>14</b>	<b>38</b>	<b>49</b>	<b>101</b>

\* Integrated System is a desktop and integrated monitor as one product

(b) Quantitativo de equipamentos certificados no Brasil em 20/10/2009

Figura 2.16 - Exemplo do selo EPEAT para certificação de equipamentos de informática (EPEAT, 2009)

Esta abordagem para a certificação de equipamentos de informática torna-se pertinente, pois os veículos de motor à combustão já possuem várias aplicações da telemática (*i.e.* controle eletrônico dos componentes por sensores). Para os veículos elétricos isso aumenta ainda mais, pois estes possuem uma eletrônica embarcada maior que os de motores à combustão (COSTLOW, 2009 e BROOKE, 2009).

Muito embora já exista legislação específica para o controle de emissões veiculares, com a certificação nacional sobre os índices de emissões, ainda não existe uma norma específica para o projeto ambientalmente correto de automóveis, bem como selos verdes de certificação para projeto de *green cars* (*i.e.* automóveis com baixos impactos ambientais durante o ciclo de vida).



No entanto, uma iniciativa em 2008 da fabricante brasileira VWCO (Volkswagen Caminhões e Ônibus, atual MAN) é bastante significativa e pioneira. A empresa foi certificada pelo Instituto de Qualidade Automotiva (IQA) em função do seguimento à metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), nos quesitos transparência (*i.e.* documento tornado público) e consistência (*i.e.* comprovação com base científica), referente ao produto caminhão VW 19.320 Constellation DayCab (Figura 2.17).



Figura 2.17 - Selo ambiental concedido pelo IQA para o veículo VW 19320E (MARQUES e ALVES, 2009)

Em linhas gerais, o organismo certificador considerou que a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi aplicada com critérios pertinentes aos preconizados pela família de normas de gestão ambiental NBR ISO 14040, para o caso do caminhão VW Constellation. Esta é uma iniciativa já realizada na Alemanha, com veículos de passeio da VW, linhas Golf, Passat e Lupo.

Parte deste estudo recebeu a menção honrosa na categoria Responsabilidade Ambiental do prêmio AEA de Meio Ambiente de 2009, da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA).

Esta associação é uma instituição não governamental, sem fins lucrativos, a qual criou em 2009 um comitê específico para a questão da reciclagem de veículos. Este comitê conta com a participação de especialistas e profissionais representantes dos fabricantes automotivos, de universidades e centros de tecnologia e está

comprometido com o desenvolvimento e contribuição para novas frentes de trabalho e traçabilidade de cenários relacionados aos VFVs, além de considerar a plataforma IMDS como referência para declaração de substâncias.

### 2.4 CICLO DE VIDA E ACV

Para a Agência Americana de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency, EPA*), o sistema do ciclo de vida de um produto inclui todas as fases de ciclo de vida a partir da utilização dos recursos naturais (KEOLEIAN e MENEREY, 1993).

Estas fases (Figura 2.18) incluem a terra e a biosfera, a aquisição e o processamento de matéria-prima, o processamento dos materiais, a manufatura e a montagem, a utilização, o descarte ou retirada e o tratamento e disposição.

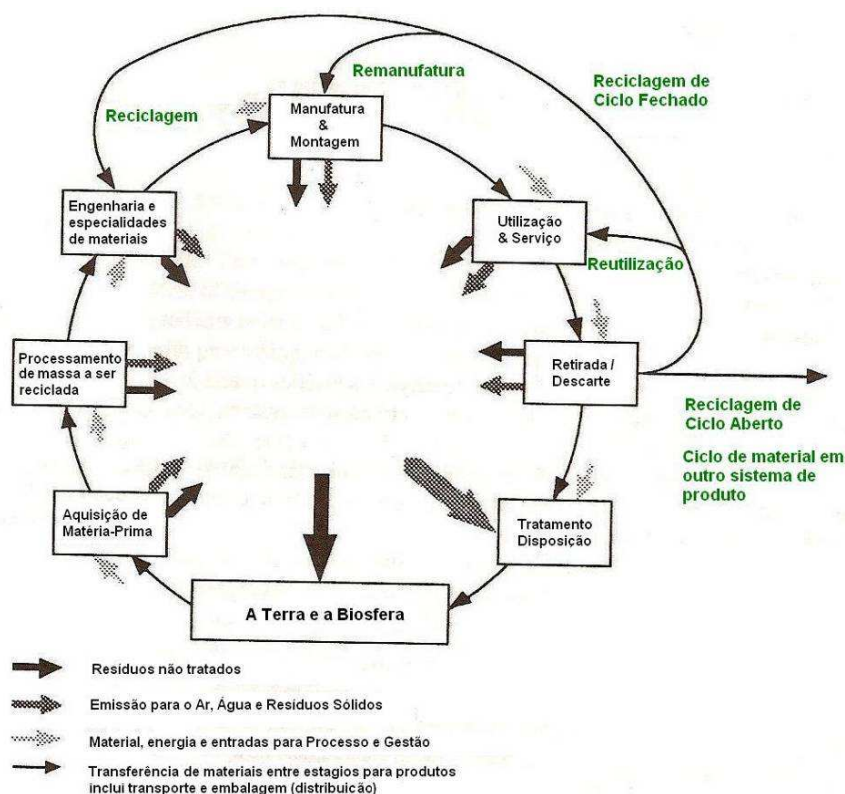


Figura 2.18 - O sistema do ciclo de vida do produto (KEOLEIAN e MENEREY, 1993)

Existem atividades que podem ser realizadas quando o produto chega na fase de descarte e é enviado para a reciclagem. Para isso, são considerados dois ciclos: *i)* aberto (reciclagem de ciclo aberto); e *ii)* fechado (reciclagem de ciclo fechado). O

primeiro é relacionado aos resíduos que são utilizados como matéria-prima na fabricação de outros produtos, enquanto o segundo pode ser utilizado como matéria-prima em diferentes fases do mesmo produto, ou seja, em processos como o reuso ou reutilização, remanufatura e reciclagem.

O processo de reciclagem é um processo de recuperação de material. Todavia, este trabalho considera algumas definições: reciclável é o material passível de passar por um processo de reciclagem em final de vida (*i.e.* quando perde a função para o usuário e se torna um resíduo); reciclado é o material proveniente de um processo de reciclagem.

Baseado no conceito do ciclo de vida de produto proposto por Keoleian e Menerey (1993), por meio do projeto para o ciclo de vida (*Life Cycle Design, LCD*), e no final de vida proposto por Graedel e Allenby (2003), Lazzari e Monich (2008) e Marques e Alves (2009) apresentam uma abordagem das fases do ciclo de vida de um automóvel (Figura 2.19).

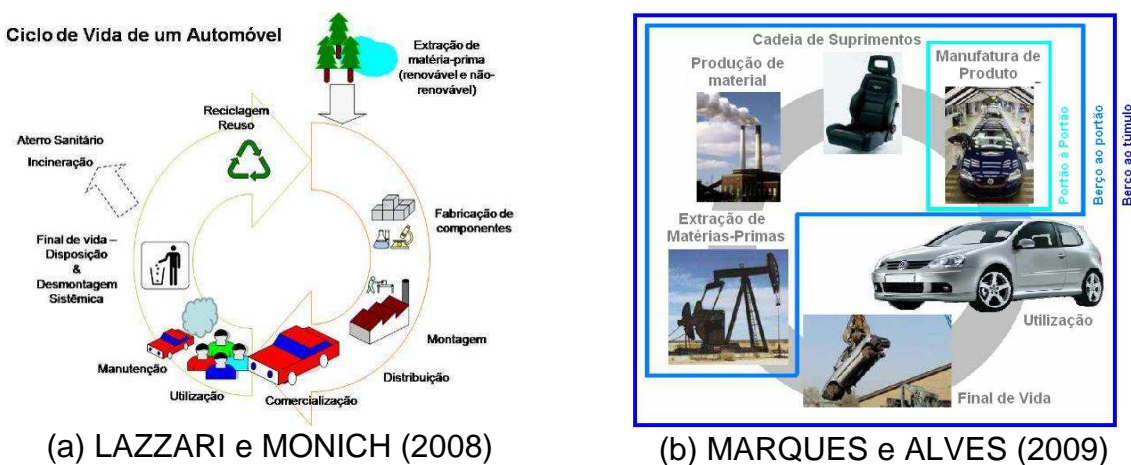


Figura 2.19 - Ciclo de vida de um automóvel

Tais fases consideram: *i)* a extração de matérias-primas minerais, naturais e outras fontes; *ii)* a manufatura e produção dos componentes e montagem do veículo (cadeia de suprimentos da indústria automotiva); *iii)* o transporte da indústria para os pontos de comercialização; *iv)* a aquisição e utilização do veículo; *v)* o final de vida do veículo, tendo como variáveis fundamentais a serem analisadas: a rastreabilidade, a taxa de reciclagem, a taxa de valorização e a destinação adequada dos componentes (reciclagem ou outro processo).

Além disso, mostra a amplitude (*i.e.* os limites do sistema) em que a equipe de projeto e desenvolvimento automotivo deseja atuar: processo produtivo (portão à

portão); da extração de matérias-primas ao processo produtivo (berço ao portão); e da extração de materiais-primas até seu final de vida (berço ao túmulo). Para cada limite definido, uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode ser direcionada, contribuindo para a mensuração dos impactos, sociais e/ou ambientais associados.

Para cada fase do ciclo de vida, acima descrito, sugere-se uma correlação com os principais fatores (*i.e.* aspectos) relacionados. Tais fatores são classificados em:

a) Fator Ambiental: resultados de ACV, reciclabilidade, taxa de valorização, viabilidade de desmontagem, coleta, transporte e envio para reciclagem, viabilidade de reciclagem, fatores de segurança dos usuários e fatores de segurança para manutenção do veículo (mapeamento dos riscos envolvidos para incidentes e acidentes);

b) Fator Social: fatores de segurança dos usuários e manutenção do veículo (riscos envolvidos para incidentes e acidentes);

c) Fator Logístico: exigências legislativas para transporte e operacionalização da energia elétrica;

d) Fator Tecnológico: vantagens e desvantagens da tecnologia utilizada com relação aos demais nos veículos e o desempenho energético do veículo (seja com motor à combustão, híbrido, elétrico ou outro);

e) Fator Industrial: facilidades de montagem e desmontagem, fatores de segurança dos usuários e fatores de segurança para manutenção do veículo;

f) Fator econômico: distribuição e acesso à matriz energética associada.

A partir da definição das etapas do ciclo de vida consideradas, a ACV torna-se decisiva no agrupamento das informações de inventário de emissões e inventário dos impactos ambientais.

Especificamente para o caso de uma ACV, com a aplicação da família de normas ABNT NBR ISO 14040 e com o uso de softwares específicos, é possível compilar e avaliar as entradas, as saídas e os impactos ambientais (e sociais) potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Para que isso seja possível, dados dos materiais utilizados (e.g. definição dos processos construtivos, processos de manufatura e transportes, entre outros) são de fundamental importância para que a avaliação garanta a veracidade nos resultados.

As etapas de uma ACV (Figura 2.20) são criteriosas e exigem o seguimento à seqüência de: *i)* definição do objetivo e escopo; *ii)* análise do inventário; e *iii)* avaliação do impacto.



Figura 2.20 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida

(adaptado da ABNT NBR ISO 14040, 2009)

Além disso, para que uma ACV obtenha um bom êxito, devem estar claramente definidos: as funções do sistema de produto e suas fronteiras, a unidade funcional, os fluxos de referência, os critérios de corte e os procedimentos de alocação, dentre vários outros itens exigidos pelas normas relacionadas.

A ACV também é utilizada para fornecer informações para tomada de decisão empresarial, políticas públicas e consumidores, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais e sociais.

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040 (2009) e com a ABNT NBR ISO 14044 (2009), a primeira fase inclui a Definição do Objetivo e Escopo. O objetivo deve declarar a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo (*i.e.* para quem os resultados serão comunicados). O escopo deve abordar o sistema de produto (*i.e.* suas funções e fronteiras), a unidade funcional, os procedimentos de alocação, tipos de impactos e metodologia de avaliação de impacto, interpretação, requisitos dos dados, suposições, limitações, tipo de análise e tipo e formato do relatório requerido.

Na segunda fase, de Análise de Inventário, de acordo com a ABNT NBR ISO 14044 (2009), é a parte que envolve a compilação e a quantificação de entradas e



saídas, para um determinado sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. Já na terceira fase, a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida aborda a compreensão e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto.

A fase de Interpretação, de acordo com a ABNT NBR ISO 14044 (2009), é a fase da ACV na qual as constatações da análise de inventário ou da avaliação de impacto, ou de ambas, são combinadas consistentemente com o objetivo e o escopo definidos para obter conclusões e recomendações. Com isso, torna-se possível a tomada de decisões em aplicações diretas tais como: desenvolvimento e melhoria de produtos, planejamento estratégico, elaboração de políticas públicas, ações de marketing, entre outras.

A Figura 2.21 mostra a correlação de algumas emissões de algumas fases do ciclo de vida de um automóvel de passeio com os impactos ambientais associados. A Figura 2.22 apresenta a aplicação prática da ACV na área automotiva.



Figura 2.21 - Correlação do inventário dos dados de emissões relacionados aos impactos ambientais de algumas fases do ciclo de vida de um automóvel (MARQUES e ALVES, 2009)

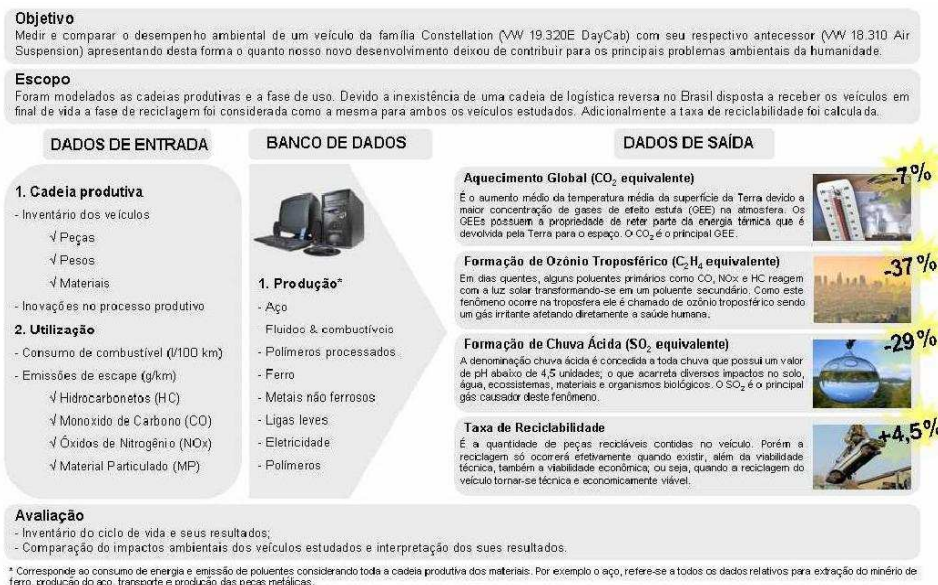


Figura 2.22 - Macroinformações sobre o estudo de ACV do caminhão VW Constellation (MARQUES e ALVES, 2009)

Com os resultados de uma ACV, associados às variáveis econômicas, as decisões são dispostas para os tomadores de decisão a respeito da adoção ou não das sugestões indicadas pelos estudos (Figura 2.23), a fim de contribuir na atualização de projeto de veículos existentes ou no projeto de novos veículos.

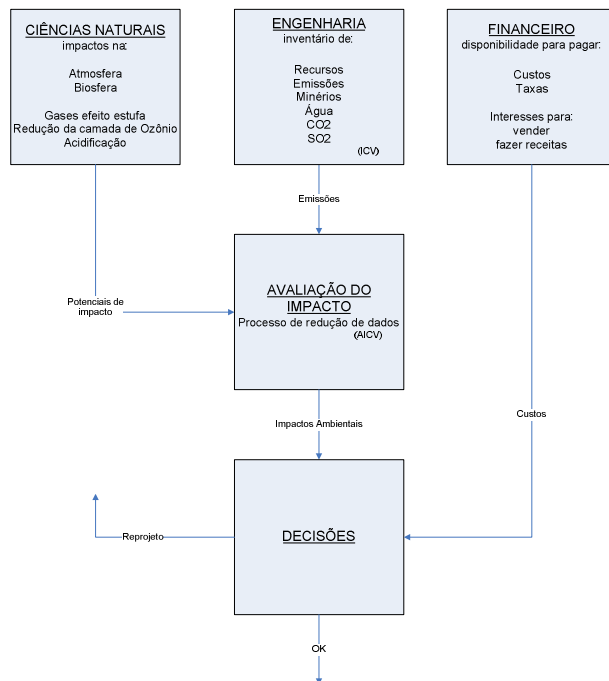


Figura 2.23 - Fontes de fluxos e dados em uma ACV: Os principais esforços consistem na aquisição de dados (adaptado de VOLKSWAGEN AG, 2008)

Além disso, em um sistema de Inventário do Ciclo de Vida (ICV ou LCI, *Life Cycle Inventory*) adotado pela Volkswagen Automóveis da Alemanha, o processo de modelagem de um veículo inteiro é alimentado utilizando as entradas das declarações na plataforma IMDS e os resultados da ACV, por meio de softwares específicos. Associado à lista de produtos e ao manual de consolidação do produto é definido um modelo de produto (Figura 2.24).

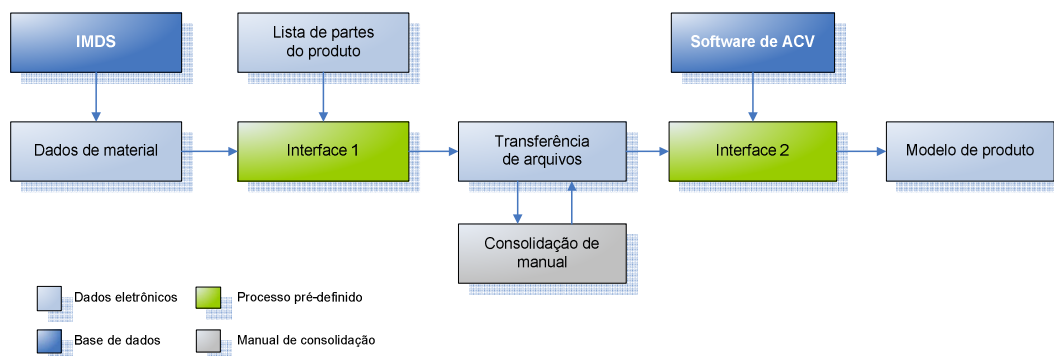


Figura 2.24 - Integração das bases de dados de inventário como o IMDS e de software de ACV na modelagem de novos veículos (adaptado de VOLKSWAGEN AG, 2008)

Além dos impactos atmosféricos dos automóveis e da geração de resíduos destes em final de vida, O'Shea (2002) apresenta uma correlação transversal entre outros impactos ambientais gerados durante o ciclo de vida de um produto, nas fases de manufatura, utilização e disposição (final de vida). Tais impactos podem ser de origem de fontes emissoras (e.g. sólidos, líquidos e gasosos) ou de consumo de recursos (e.g. material e energia). Com isso, torna-se possível que o projetista e o desenvolvedor tenham a habilidade de mapear em qual etapa do ciclo de vida irão interagir.

Baseado em Orsato e Wells (2006), é apresentada uma correlação para o caso de um automóvel. A Tabela 2.3 ilustra alguns impactos potenciais associados a cada fase do ciclo de vida, abordando exemplos de ações e tipos de impactos associados.



Tabela 2.3 - Correlação entre as fases do ciclo de vida de um automóvel com motor de combustão interna, impactos ambientais e exemplo associado ao limite de cada sistema (baseado em Orsato e Wells, 2006)

Fase do Ciclo de Vida	Impacto Ambiental				Exemplo
	Escassez de Recursos	Consumo energético	Emissões diversas (ar, água, solo)	Geração de resíduos	
Extração de matéria-prima	●	●	●		Consumo energético no uso de equipamentos industriais
Fabricação de componentes		●	●	●	Consumo energético no uso de equipamentos industriais; Consumo de recursos materiais
Montagem		●	●	●	
Distribuição		●	●		Transporte do veículo
Comercialização		●	●	●	
Utilização			mudanças climáticas, acidificação, efeito estufa		Transporte do combustível da refinaria até os pontos de distribuição; Emissão atmosférica proveniente da queima de combustível fóssil
Manutenção				●	Geração de resíduos
Disposição				●	Desmontagem de componentes
Aterro			mudanças climáticas	Lixiviação	Descarte a céu aberto; Descarte em aterros diversos
Reciclo Fechado				●	Utilização dos componentes em novos veículos
Reciclo Aberto				●	Utilização dos componentes outros produtos

Todavia, outros aspectos também podem ser abordados, como a inserção dos conceitos de projeto para o meio ambiente na fase de projeto. Estes conceitos podem incentivar a definição de projeto para o final de vida dos automóveis, com a utilização de metodologias como o Projeto para a Desmontagem (*Design for Disassembly*, DfD) e o Projeto para a Reciclagem (*Design for Recycling*, DfR) em vias de minimizar ou mitigar os eventuais impactos existentes de um automóvel nas suas diferentes fases do ciclo de vida.

A correlação das fases do ciclo de vida com os respectivos fatores impactantes possui uma abordagem multicritério e sistemática, cuja priorização dos itens depende do grupo de projeto e desenvolvimento.

## 2.5 IMPORTÂNCIA DO PROJETO PARA O FINAL DE VIDA AUTOMOTIVO

Depois de um século de engenharia automotiva, ainda persistem indicadores da ineficiência do veículo contemporâneo: pelo menos 80% da energia do combustível que ele consome se perdem, principalmente no calor e na exaustão do motor, de modo que, atualmente, em média no máximo 20% são utilizados para que as rodas girem (HAWKEN, LOVINS e LOVINS, 1999).

Hawken, Lovins e Lovins (1999) propõem um quadro contrário a esta realidade, inserido dentro da teoria do Capitalismo Natural, a qual envolve três mudanças decisivas no sentido de melhor aproveitamento da energia utilizada por um veículo. Tais mudanças são descritas como:

- a) Tornar o veículo ultraleve, com massa duas a três vezes menores que o dos carros tradicionais de aço;
- b) Diminuir a resistência oferecida ao seu deslocamento, de modo que ele possa deslizar no ar e rodar na estrada com muito mais facilidade; e
- c) Quando os passos a) e b) tiverem reduzido à metade ou em dois terços a energia necessária para mover o veículo, tornar sua propulsão elétrico-híbrida.

Todo este desafio está baseado na necessidade de locomoção (*i.e.* na forma de mobilidade), que se apresenta como o grande fator desafiador para a equipe de projeto, no que se refere ao transporte pessoal por automóveis.

Na tríade: peso (massa), aerodinâmica e matriz propulsora, residem, concomitantemente, a importância do contexto e interação com o meio ambiente, indiferente da fase do ciclo de vida que esteja relacionado. A Figura 2.25 ilustra as variáveis de cada elemento desta tríade. Veículos à tração humana (ou HPV, *Human Powerered Vehicles*), Sistemas de Combustão Combinada (ou CCS, *Combinated Combustion Systems* como os veículos híbridos), veículos elétricos *plug in* ou auto-alimentados e tecnologia a hidrogênio (*i.e.* pilha a combustível) são exemplos da aplicação destes conceitos.



Figura 2.25 - Variáveis que interferem diretamente na busca por soluções para um projeto para a mobilidade automotiva ambientalmente sustentável

Um exemplo da aplicação na engenharia de desenvolvimento de produto destas variáveis pode ser visualizado no VW Golf VI, apresentado didaticamente na Figura 2.26.

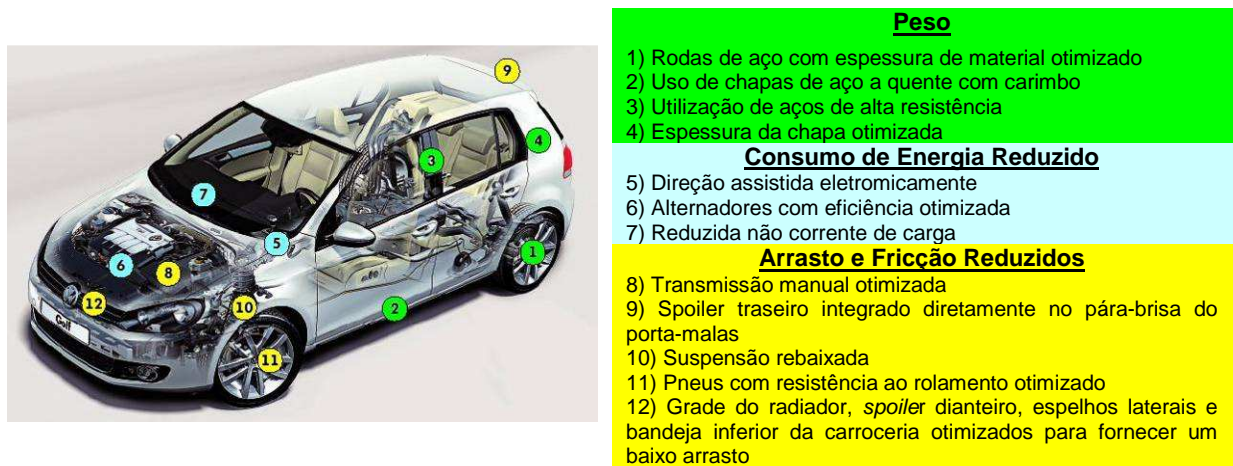


Figura 2.26 - Aplicação das variáveis peso, aerodinâmica e eficiência dos componentes elétricos no VW Golf VI (adaptado de VOLKSWAGEN AG, 2008)

Além destas características e variáveis, outros aspectos também devem ser conjuntamente associados no desenvolvimento de automóveis (Figura 2.27).

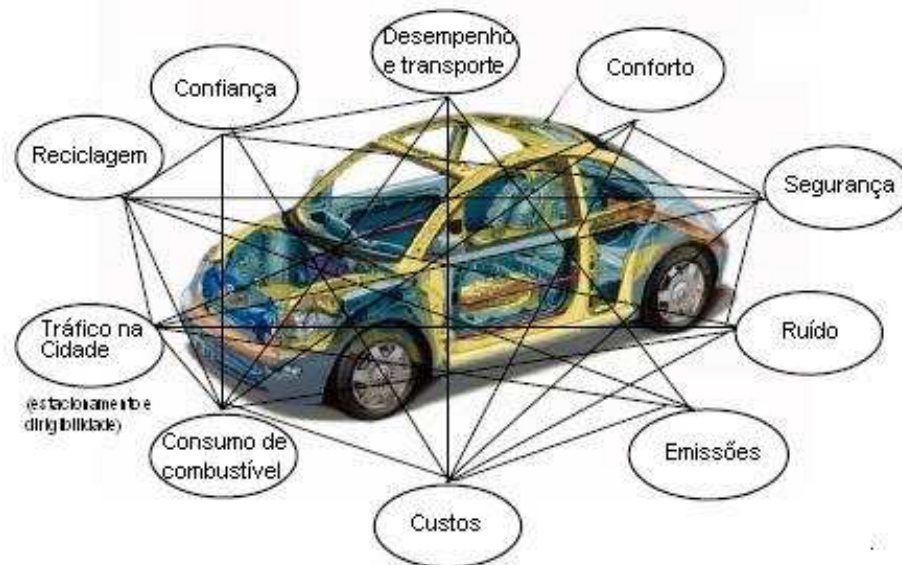


Figura 2.27 - Diversos aspectos associados aos aspectos ambientais na concepção de um novo veículo. No exemplo é apresentado o VW Newbeetle

(adaptado de VOLKSWAGEN AG, 2008)

Quando se trata de projeto voltado para o final de vida de veículos, mais precisamente, o projeto para a reciclagem, a fabricante *General Motors* (GM) sugere três elementos como essenciais:

- a) A seleção de materiais orientada para a reciclagem;
- b) O projeto para a não poluição; e
- c) O projeto para a desmontagem ou desmantelamento.

Além disso, para este mesmo fabricante automotivo a responsabilidade integrada de produto no caminho para um projeto mais ambientalmente eficaz do final de vida dos veículos, inclui as fases de desenvolvimento, produção, recuperação e utilização (Figura 2.28).



Figura 2.28 - A responsabilidade integrada de produto com a inserção dos aspectos ambientais (GM, 2010)

### 2.5.1 Veículo em final de vida

Uma das etapas mais significativas e desafiadoras para o final de vida automotivo é a etapa da desmontagem. Os projetistas automotivos devem pensar na melhor forma de contribuir para a definição do acesso às funções, a fim de facilitar a separação dos cerca dos vários grupos de componentes e posterior envio para os processos de reciclagem. A Figura 2.29 apresenta o VW Golf A5 inteiramente desmontado.



Figura 2.29 - Veículo VW Golf A5 desmontado (VOLKSWAGEN AG, 2008)

Com isso, uma variável fundamental para a desmontagem é a taxa de desmontabilidade (*i.e.* índice de acesso à função), que varia principalmente em função do número de ferramentas necessárias para retirada de um componente,

assim como do tempo gasto na atividade. A variável de qualificação do operador da função também pode ser considerada e contribui para os custos do final de vida.

Estes custos geralmente são derivados de operações que necessitam de ferramentas específicas e são realizadas por intervenção humana, pois não há processos automatizados para a desmontagem assim como ocorre na etapa de manufatura. O máximo que ocorre são equipamentos semi-automáticos, utilizados por um único operador. A Diretiva nº53 de 2000 da Comunidade Européia (2000/53/CE) exige que as etapas do final de vida devem ser traçadas pelos fabricantes automotivos (Figura 2.30).

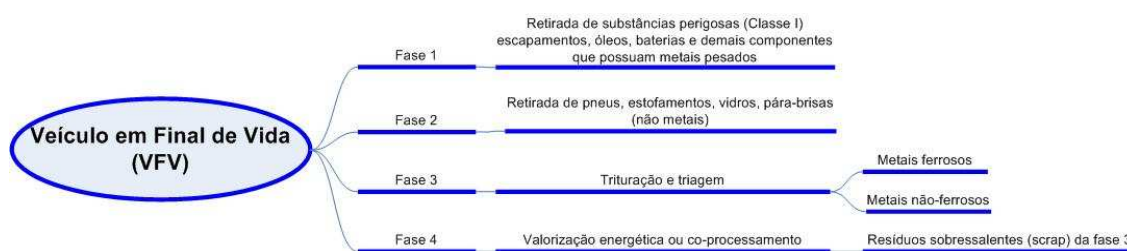


Figura 2.30 - Quatro etapas sistêmicas da desmontagem de um VFV (adaptado de LAZZARI e MONICH, 2008, baseado na Diretiva Européia nº53 de 2000)

As substâncias perigosas, ou seja, resíduos Classe 1 segundo a ABNT NBR 10004 (2003), presentes em componentes como escapamentos, baterias, óleos e outros componentes que possuam metais pesados, devem ser separados na Fase 1. Na fase 2, componentes que possuem plásticos, vidros e elastômeros são retirados. É nesta fase que componentes como pára-choques, pára-brisas, estofamentos e pneus são retirados.

Na Fase 3, os materiais restantes, como metais ferrosos e não ferrosos são triturados e triados. Em geral, este processo se dá em um grande triturador (*i.e. Shredder*), o qual tritura e separa os metais ferrosos dos não ferrosos, utilizando eletroímãs, *eddy current*, densimetria e granulometria. Na fase 4, os resíduos restantes da fase 3 são utilizados como co-processamento (*i.e.* aplicação como insumos em outros processos industriais) ou valorização energética (*i.e.* aplicação como combustível em outros processos industriais).



Graedel e Allenby (2003) apresentam algumas sugestões para as etapas de desmontagem sistêmica, as quais mostram a separação dos componentes por tipos de materiais, além de um detalhamento dos processos realizados em um centro de desmontagem automotiva (Figuras 2.31 e 2.32).

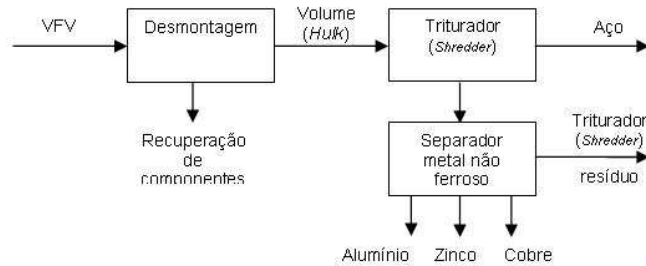


Figura 2.31 - A seqüência de reciclagem automotiva (GRAEDEL e ALLENBY, 2003)

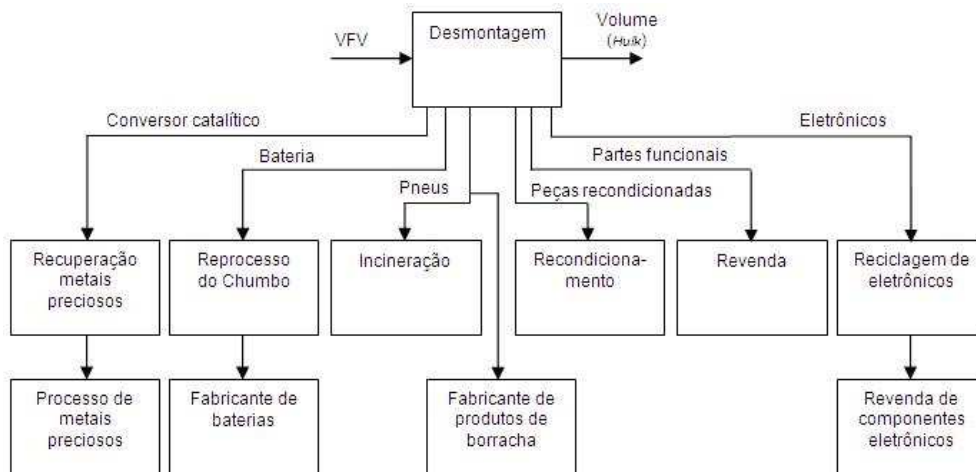


Figura 2.32 - Fluxos de componentes dos centros de desmontagem automotiva para reutilização de componentes, reprocessamento de materiais e operações de recuperação de energia (GRAEDEL & ALLENBY, 2003)

No continente Europeu, estas etapas são concretizadas após a chegada dos veículos nos Centros de Desmontagem Automotiva. Estes centros são credenciados e realizam uma desmontagem sistêmica do veículo, ou seja, seguem os passos pré-definidos e métodos específicos detalhados anteriormente (Figura 2.33).

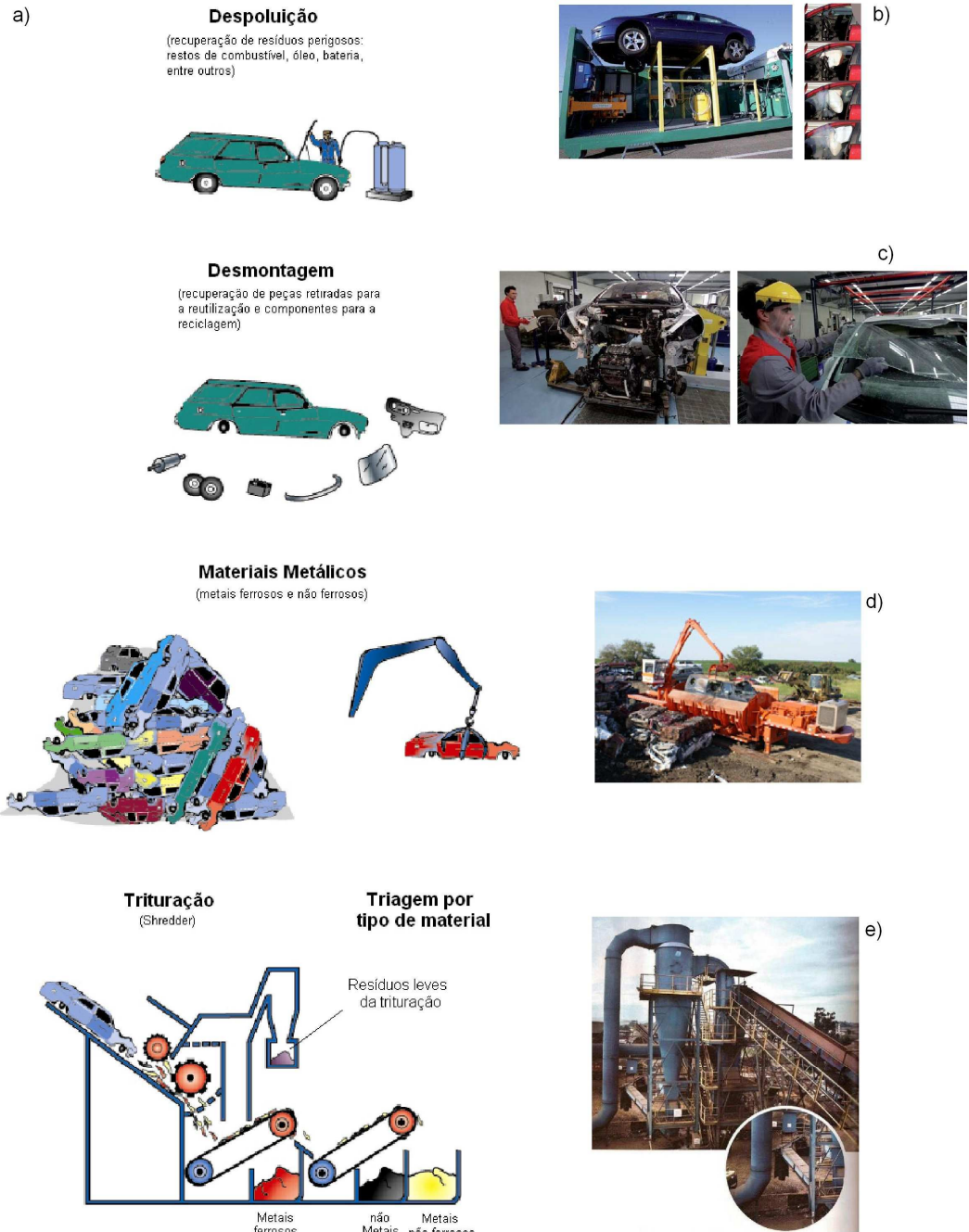


Figura 2.33 - Exemplo gráfico das fases do final de vida automotivo: a) etapas de desmontagem com a utilização de triturador de materiais e processamento de matérias-primas secundárias (BIR, 2010); b) instalações de retirada de lubrificantes, baterias e explosivos (RE-SOURCE, 2009); c) retirada de componentes não metálicos (RE-SOURCE, 2009); d) compactação das partes metálicas (ALJON, 2009); e) instalações do triturador *Shredder* da recicladora RFR em Guarulhos, SP (CARVALHO, 2009)



Todas estas etapas estão relacionadas ao final de vida de veículos, que visam contribuir para um coerente balanço de massa e conservação de energia em cada parte do sistema do produto (*i.e.* ciclo de vida).

Um exemplo prático de balanço de massa e energia, proposto por Graedel e Allenby (2003), pode ser visualizado no modelo americano de transporte pessoal por automóveis (Figura 2.34). A partir da definição da função principal como “transporte pessoal por automóveis”, este exemplo apresenta os quantitativos de entradas e saídas relacionadas à função.

Para os dados de entrada, percebe-se a inserção dos dados dos componentes automotivos principalmente à base de petróleo, borracha, metais ferros e não ferrosos, além de dados da estrada que será construída e mantida para que o transporte possa ser realizado. Já para os dados de saída são identificados a distância percorrida, os resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas geradas.

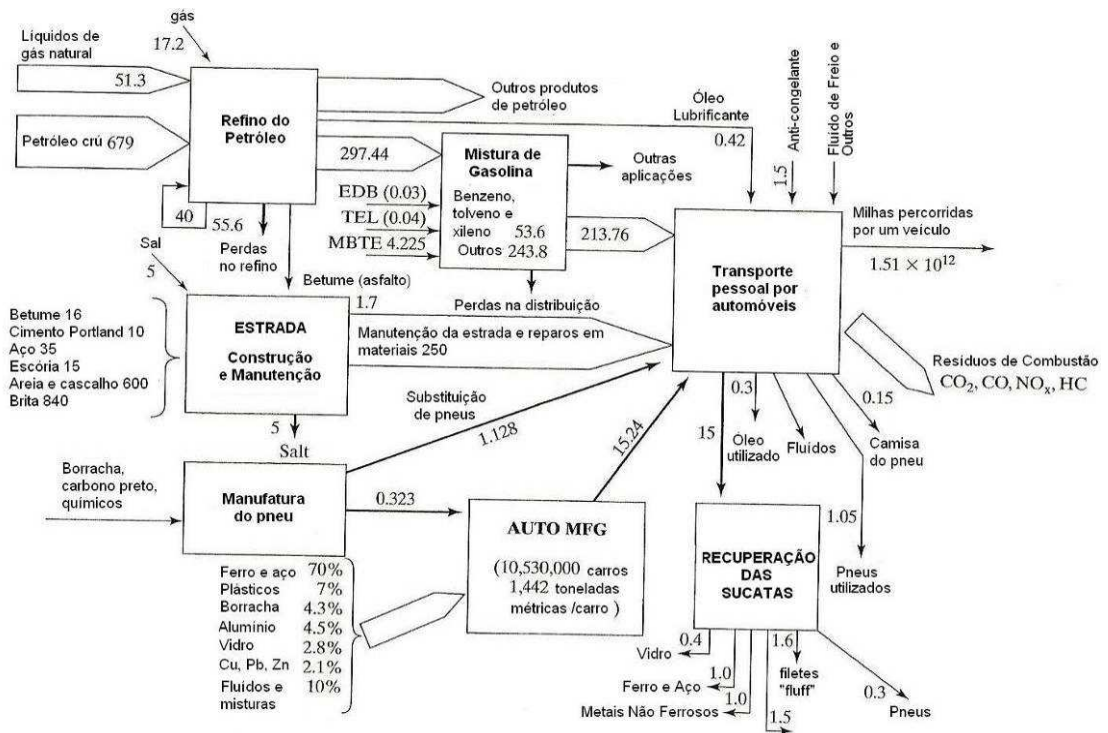


Figura 2.34 - Fluxo de massa para o sistema automotivo norte-americano em milhões de toneladas métricas (adaptado de GRAEDEL e ALLENBY, 2003)

Para cada componente, há um processo específico de reciclagem, co-processamento ou valorização energética. De acordo com Licco (2000), para alguns

já existem tecnologias no Brasil como é o caso da reciclagem de metais ferrosos e não ferrosos, pneus (reciclo da borracha) e baterias de chumbo-ácido secundário.

Com a rastreabilidade do final de vida automotivo as equipes de desenvolvimento de produtos tornam-se capazes de utilizar as informações pertinentes no desenvolvimento de novos produtos ou na melhoria dos existentes.

Alguns exemplos são as Engenharias de Reciclagem de Produtos, situadas no *Technocentre* da Renault na França, na BMW e Volkswagen (VW) na Alemanha, na FIAT em Torino na Itália, na Toyota e Honda nos Estados Unidos e Japão, na Ford América Latina em Camaçari (Bahia) e América do Norte, na Hyundai na Coréia do Sul, entre vários outros, que atuam na fase de projeto, visando contribuir com as demais equipes para a definição de materiais que tenham, dentre outros itens, uma alta taxa de reciclabilidade.

A título de exemplo, a FIAT possui um programa que leva a reciclagem em ciclos aberto e fechado, com efeito cascata aplicado a alguns componentes do veículo que antes não eram recuperados. Este sistema é conhecido como FARE, FIAT *Auto Recycling* (Figura 2.35).

Depois do primeiro ciclo de vida, o material dos pára-choques em polipropileno é reciclado e aplicado nos catalizadores de ar, pois estes apresentam menores exigências estéticas. Por sua vez, o material dos catalizadores, depois do seu segundo ciclo de vida (o segundo do mesmo material) é reciclado e reaplicado nos tapetes do veículo (MANZINI e VEZZOLI, 2005).

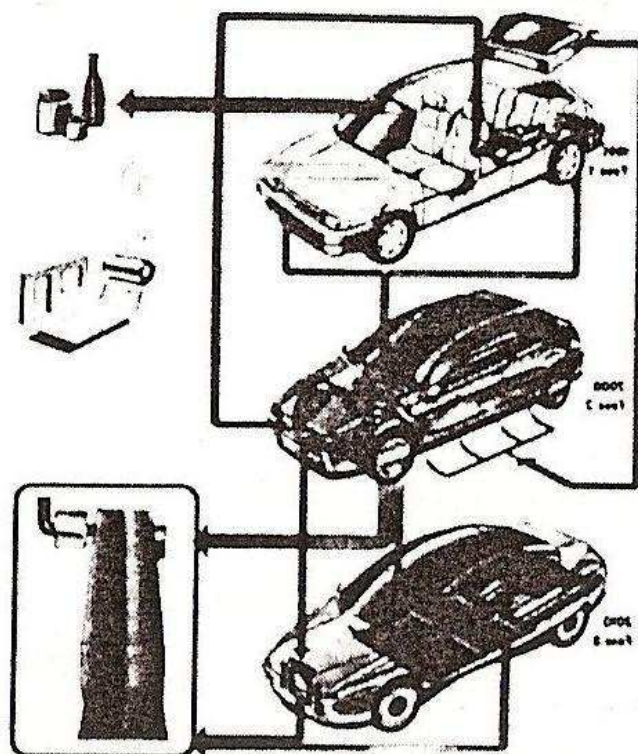
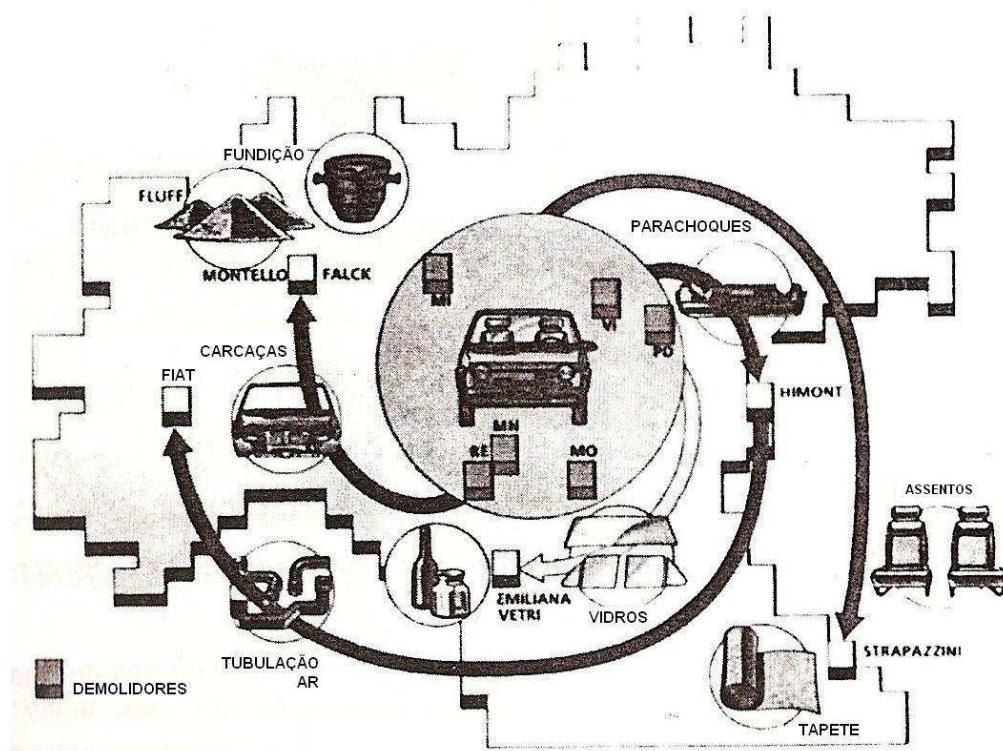


Figura 2.35 - Sistema FARE da FIAT (MANZINI e VEZZOLI, 2005)

Sistemas semelhantes também já foram publicamente implementados por outros construtores automotivos, tais como o sistema Volkswagen na Alemanha, o da Renault e PSA Citroën na França, Toyota e Honda no Japão, Estados Unidos e Europa, além da *General Motors*, Ford e todos os demais construtores associados.

Veículos de alta potência provenientes em geral de marcas de alta gama (*i.e.* veículos com valor de mercado superior a 100.000 dólares americanos) como Jaguar, Porsche, BMW, Audi, Ferrari, entre outros, também possuem programas pré-estabelecidos para a coleta e gestão de veículos em final de vida, preferencialmente em continente europeu.

No entanto, como o custo homem-hora de desmontagem no tempo de acesso à função é uma variável significativa, torna-se interessante e oportuno trabalhar no projeto de peças e componentes de fácil desmontagem, como é o caso do painel do Renault Ellypse (Figura 2.36), um carro conceito (*i.e. concept car*) divulgado em 2005, o qual utiliza parafusos com um quarto de giro (*i.e.* maior velocidade na fixação e menor tempo).



Figura 2.36 - Detalhe da desmontagem do paralamas do Renault Ellypse  
(RENAULT, 2005)

Mesmo com o mundo tendo um forte apelo aos veículos elétricos, híbridos e semelhantes, estes também devem ser projetados a fim de que sejam fáceis de serem desmontados em final de vida. Vale lembrar que, neste caso, o desafio é a reciclabilidade e valorização das baterias por eles utilizadas.

Neste sentido, a Figura 2.37 ilustra o exemplo de desmontagem do sistema da bateria de tração de um automóvel híbrido, o Toyota Lexus RX400h, com massa de 69 kg. Este tipo de bateria também é chamado de acumulador de alta tensão e é provido em geral, de uma caixa (também usualmente chamada de “*pack*”), que é decomposta em módulos e estes em células, providas de eletrodos e eletrólitos.

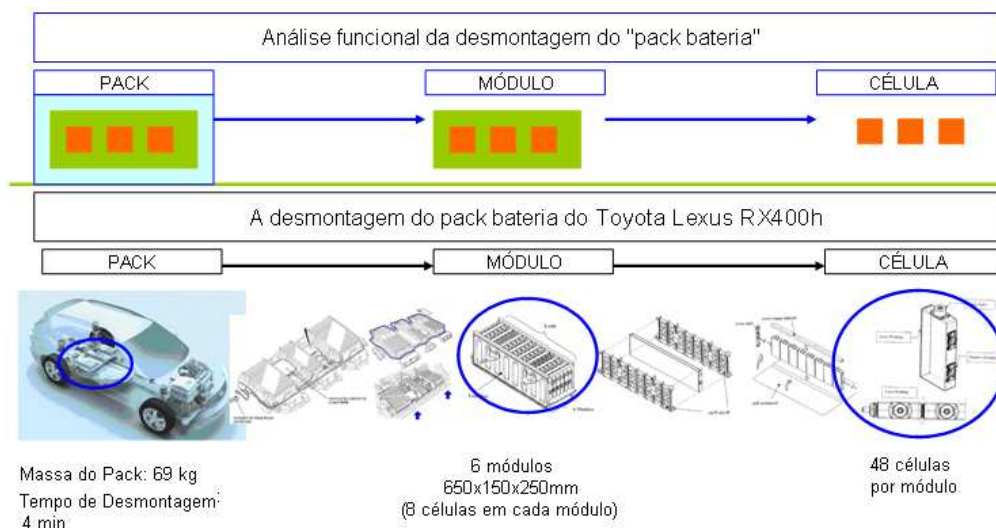


Figura 2.37 - Exemplo dos componentes de um caixa “pack” bateria, utilizado em um automóvel híbrido: Toyota Lexus RX400h, bateria com massa de 69 kg

(LAZZARI, 2006)

As dificuldades e facilidades de acesso à função denotam a importância do projeto para desmontagem, uma vez que esta está diretamente associada ao tempo, e este, por sua vez, é traduzido em custos. Um outro exemplo é a demontagem do sistema de bateria de tração do Honda Civic híbrido (Figura 2.38).



Figura 2.38 - Desmontagem do módulo e células da bateria de alta tensão do Honda Civic Híbrido para facilitar a entrada nos processos de reciclagem

(HONDA, 2006)

Além das baterias, outros componentes que possuem metais pesados em automóveis devem ser retirados, armazenados adequadamente e encaminhados para centros de reciclagem e tratamento específicos. Um exemplo disso, são os procedimentos obrigatórios praticados pela NVMSRP (*National Vehicle Mercury Switch Recovery Program*) dos Estados Unidos, a qual atua nas fases da gestão do final de vida dos componentes automotivos que possuem mercúrio (Figuras 2.39 e 2.40).





Figura 2.39 - Exemplos de componentes automotivos que contém mercúrio (NVMSRP, 2009)

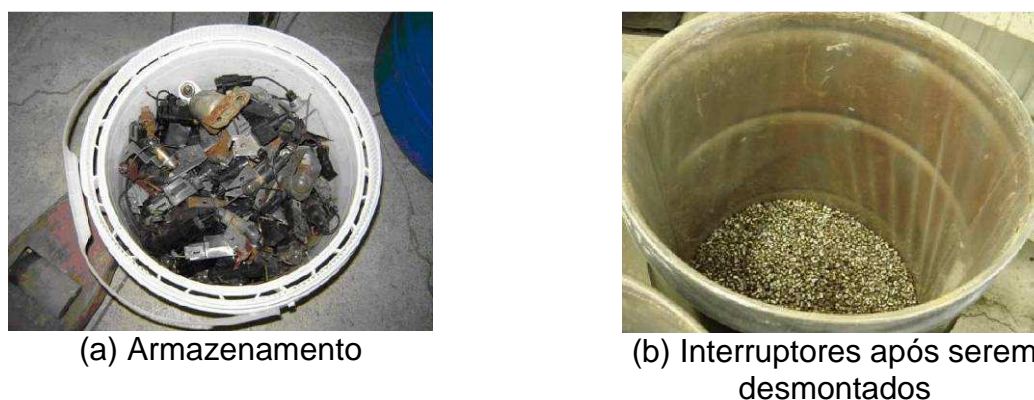


Figura 2.40 - Exemplo de segregação de componentes automotivos que possuem mercúrio (NVMSRP, 2009)

Algumas plataformas eletrônicas como ferramentas computacionais para análise de reciclagem econômica (como OPERA®), auxiliam equipes de projeto a definir um custo-reciclagem no acesso à funções que são passíveis de modificação.

As etapas de desmontagem são declaradas, juntamente com os tempos de preparação para as atividades (*i.e. setup* de ferramentas) e os tempos de execução de cada desmontagem associada à composição de material de cada elemento funcional.

Para isso, cada fabricante automotivo possui sua própria metodologia para a desmontagem. Em alguns casos, no Brasil, algumas plantas possuem oficinas de desmontagem, em que são desmontados somente veículos não conformes provenientes das linhas de produção. Estes veículos, enquanto localizados dentro

da planta industrial, são classificados como resíduos industriais e seguem a Resolução nº 313, de 19/11/2002, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA nº313/2002), que trata sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais.

### 2.5.2 Composição de material em um automóvel

A composição de um automóvel popular apresentou mudanças significativas nos últimos dez anos (ao menos desde 1998). Os percentuais de massa de metais ferrosos diminuíram em detrimento à inserção de materiais não metálicos como os plásticos (termoplásticos em quase totalidade).

Conforme citado na seção 2.1 o índice de reciclabilidade obrigatório dos componentes automotivos terá um considerável aumento até 2015 (Figura 2.41), em que será tolerado no máximo 5% em massa de material não reciclável em todos os veículos comercializados no mercado europeu.



Figura 2.41 - Evolução da inserção dos componentes recicláveis na produção de automóveis (FLORES, 2003)

Para alcançar isso, diversos fabricantes automotivos têm se preocupado em desenvolver e aprimorar novos componentes com materiais passíveis de uma maior reciclabilidade, sem deixar de atender as exigências técnicas, que incluem principalmente o atendimento às propriedades físico-químicas dos componentes até então utilizados.

Para Gerrard e Kandlikar (2006), a maior parte da composição material de um veículo popular, fabricado na Europa possui um percentual de 68,3% de metais

ferrosos, seguido de 9,1% de plásticos e 6,3% de metais leves não ferrosos (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Composição de material em um veículo popular fabricado na Europa (GERRARD e KANDLIKAR, 2006)

Material	% por massa
Metais ferrosos	68,3
Plásticos	9,1
Metais leves não ferrosos	6,3
Pneus	3,5
Vidros	2,9
Fluídos	2,1
Borrachas-Elastômeros	1,6
Metais pesados não ferrosos	1,5
Outros	1,5
Bateria	1,1
Polímeros processados	1,1
Elétricos/Eletrônicos	0,7
Carpets	0,4

Em outra análise de dados dos fabricantes, para 17 automóveis considerados populares fabricados em 1998, é apresentada uma variação semelhante nas massas de alguns tipos de materiais (Figura 2.42), como é o caso dos metais ferrosos que ocupavam cerca de 68% em veículos fabricados em 1998.

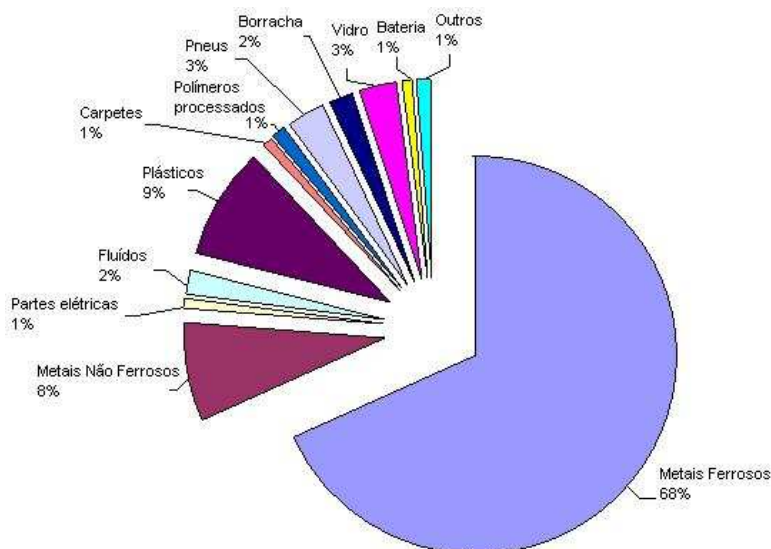


Figura 2.42 - Composição de material de 17 modelos de automóveis populares fabricados em 1998 (ACORD, 2001 *apud* WASTE ON LINE, 2004)

Paralelamente, a Volkswagen Automóveis da Alemanha apresentou uma evolução na quantidade de metais de base ferrosa utilizada nos modelos da linha Golf (Figura 2.43). Com esta evolução (*i.e.* redução de praticamente 10%), percebe-



se a importância dada pelo fabricante na busca por novos materiais de bases diferentes das até então utilizadas.

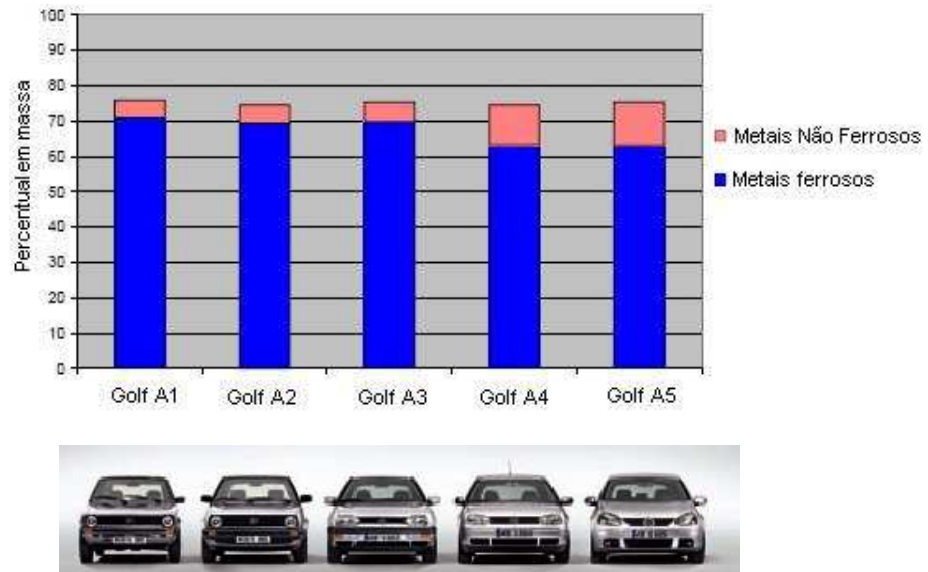
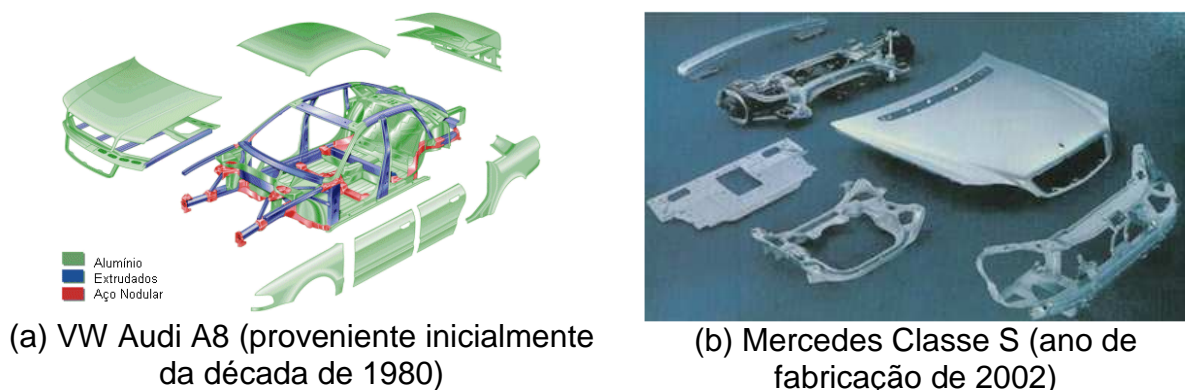


Figura 2.43 - As porções de materiais metálicos em diferentes modelos da série VW Golf (Adaptado de VOLKSWAGEN AG, 2008)

Como a matriz ferrosa é utilizada em grande quantidade em um automóvel, principalmente por fatores como abundância, valor mercadológico e características e propriedades mecânicas. Para Brooke e Evans (2009), alguns construtores já possuem estratégias específicas para diminuir a massa nos veículos, utilizando materiais metálicos de outras bases. Um exemplo disso é a utilização de materiais de matriz metálica não ferrosa, como é o caso do alumínio utilizado no Audi A8 e em partes do Mercedes Classe S (Figura 2.44).



(a) VW Audi A8 (proveniente inicialmente da década de 1980)

(b) Mercedes Classe S (ano de fabricação de 2002)

Figura 2.44 - Aplicação da matriz de alumínio em veículos

(HIRSCH, 2008)

Além desta redução na matriz ferrosa, a Figura 2.45 apresenta o detalhamento sobre a matriz de material utilizada em um veículo VW-Golf comercializado em 2008. Nota-se valores expressivos como de 15,50% para materiais poliméricos (termoplásticos em geral) e 10,84% para ligas metálicas de matriz não ferrosa.

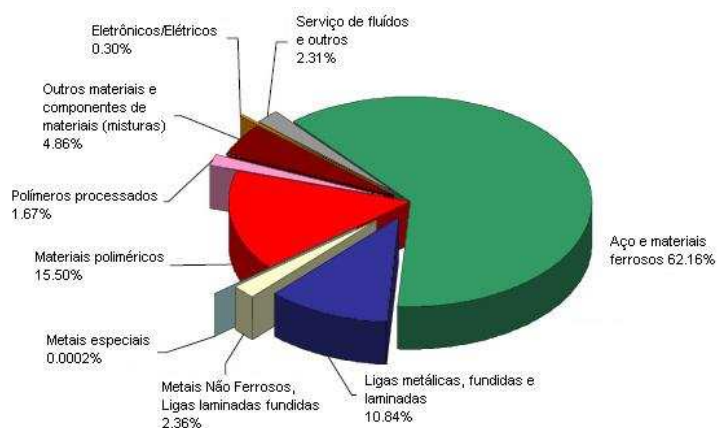



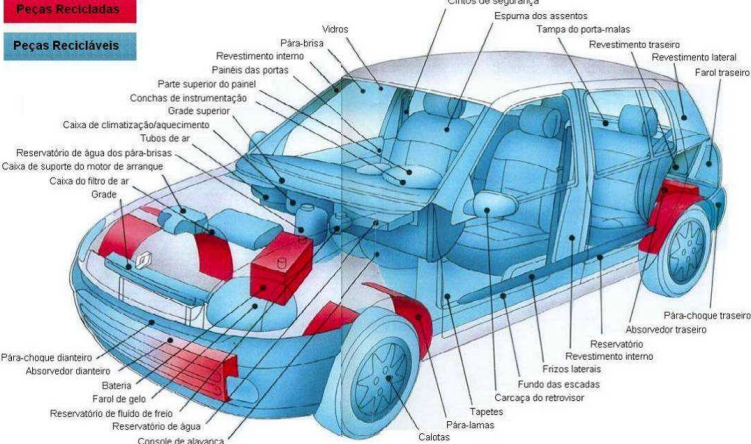

Figura 2.45 - Detalhamento da matriz de material utilizada nos veículos VW Golf (VOLKSWAGEN AG, 2008)

Na mesma escala, e já considerando os aspectos das diretivas europeias citadas anteriormente, o Ford Fiesta brasileiro ano 2004-2005, ilustra a aplicação de uma combinação dos materiais citados, enquanto o modelo Renault Clio II de 2002 apresenta em sua composição a utilização de peças recicladas (*i.e.* peças que já passaram por um ciclo de vida) e peças recicláveis (*i.e.* peças passíveis de serem recicladas em final de vida). Uma outra vertente da indústria automotiva europeia pode ser visualizada por meio da concepção do Renault Modus de 2004, a qual utilizou diretrizes de projeto de produto que endereçaram requisitos de reciclabilidade no veículo, utilizando materiais reciclados e materiais de fontes renováveis (Tabela 2.5).

Além disso, os projetistas da Renault francesa adotaram materiais com alta capacidade de serem reciclados em final de vida ou então de utilizar materiais reciclados, provenientes de resíduos de componentes de diversas partes do veículo. Com a fácil remoção dos componentes, os custos envolvidos nesta etapa são reduzidos. Todas estas ações são motivadas por normas internas da Renault, que buscam seguir ou incrementar ações em novos produtos, baseadas nas respectivas Diretivas Europeias (MEDINA, 2002).

Estas normas internas da Renault são utilizadas considerando os aspectos de reciclagem para a fase de projeto de produto, Funções Recicláveis e de Indicadores de Reciclabilidade dos Veículos.

Tabela 2.5 - Comparação da evolução da aplicação de peças potencialmente recicladas e recicláveis em veículos

Descrição do Veículo	Aplicação no veículo
<p><b>Ford Fiesta (2004-2005)</b></p> <p>Componentes em materiais potencialmente recicláveis (MOURA, 2007).</p>	
<p><b>Renault Clio II (2002)</b></p> <p>Apresenta na composição a utilização de peças recicladas (<i>i.e.</i> peças que já passaram por um ciclo de vida) e peças recicláveis (<i>i.e.</i> passíveis de serem recicladas em final de vida) (ADEME, 2005).</p>	
<p><b>Renault Modus (2004)</b></p> <p>Utilização de materiais reciclados (em verde) e materiais de fontes renováveis (em ciano) (KERNEIS, 2004).</p>	

Um exemplo interessante é o do pára-choque do Renault Clio II brasileiro. Na Europa, este componente pode ser reciclado com 90% de massa de polipropileno e utilizado em reciclo aberto (*i.e.* outro produto, dissociado da área automotiva), reciclo semi-aberto (*i.e.* após reciclado utilizado em outro componente automotivo) ou ainda como valorização energética (*i.e.* queima para produção de energia).

No caso do Brasil, isto ainda não é possível pela inexistência de um programa de gestão dos Veículos em Final de Vida (VfV), o qual possivelmente motivaria uma demanda para reciclagem deste tipo de material por parte dos fabricantes.

A escolha por materiais de fontes renováveis ou biodegradáveis nos componentes internos é uma outra alternativa. Um exemplo é o tampo do porta-malas do Renault Clio II brasileiro, feito de fibra de juta em conjunto com uma matriz termoplástica (Figura 2.46). Esta fibra é biodegradável e atende às funções requeridas pelo componente, tais como boa aparência visual, fraco odor e boa aderência à forma, além das propriedades mecânicas.



Figura 2.46 - Aplicação de fibra de juta no Renault Clio II: (a) fibra de juta; (b) teste laboratorial; (c) aplicação no veículo (MECÂNICA ON-LINE, 2005)

Outro exemplo é a utilização da fibra de Curauá (*A. erectifolius*), que é bem conhecida na Bacia Amazônica brasileira, na região oeste do Estado do Pará. Esta fibra é adicionada a uma matriz termoplástica de polipropileno. Em um determinado caso, foram aplicados 12 kg no Volkswagen Golf V, fabricado no Brasil, com a intenção de substituir eventuais fibras de vidro utilizadas (ZAH et al., 2006).

Foi realizada uma análise utilizando os conceitos de ACV e a base de dados do *Ecoinvent*. Com esta análise foi possível identificar as diferenças nas emissões de quilorama-equivalente de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por materiais em algumas fases do ciclo de vida (Figura 2.47).

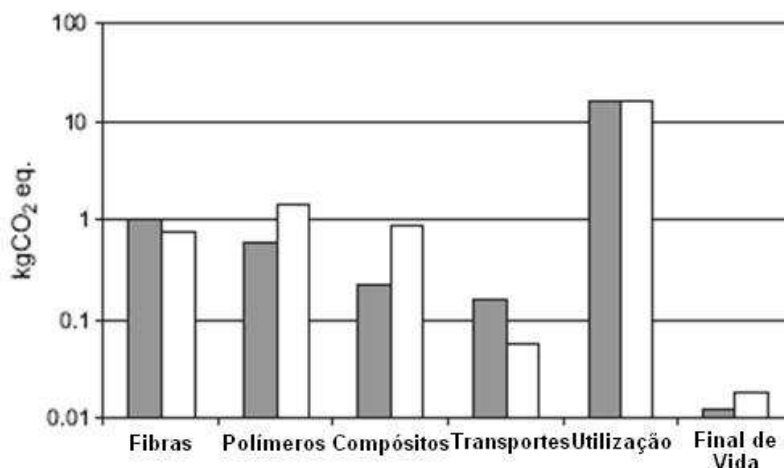


Figura 2.47 - Estimativa do impacto de 1kg de um compósito na mudança climática (potencial de efeito estufa medido por meio de equivalentes de CO<sub>2</sub>) em diferentes fases do ciclo de vida: em cinza, compósito de curauá; em branco, compósito de fibra de vidro (ZAH et al., 2006)

Na Figura 2.47, percebe-se que os impactos do compósito de curauá são menores nas fases de processamento dos polímeros e compósitos e na fase de final de vida. Todavia, na fase de utilização os impactos são equivalentes ao da fibra de vidro e maiores nas fases de manufatura das fibras (plantio) e de transportes.

Todavia, uma particularidade quando se utiliza fibras naturais em interiores de veículos, é o odor que estas podem emitir, devendo serem testadas em laboratório, a fim de verificar o odor que estas produzem quando aquecidas, uma vez que os veículos estão sujeitos à forte insolação.

Outro exemplo é a melhoria ambiental dos componentes automotivos, como é o caso com as lâmpadas (Figura 2.48) que não possuem metais pesados (*i.e.* componentes livres de chumbo, cádmio e mercúrio) e que apresentam uma ótima eficiência energética durante o uso, além do fabricante fornecer um serviço de *take-back* no final de vida.





Figura 2.48 - Lâmpadas automotivas livres de metais pesados, com boa eficiência energética e serviço de *take-back* no final de vida (MONAGHAN, 2009)

Outras alternativas, incluem a utilização de pequenas células finas de lâminas para captura de energia solar e abastecimento de lâmpadas e faróis automotivos por meio de *leds* (GEHM, 2009). Estas lâmpadas são produzidas com 98% menos material que as lâmpadas convencionais de *leds* (Figura 2.49).



Figura 2.49 - Exemplos de lâmpadas e faróis automotivos com 98% menos material que os tradicionais (GEHM, 2009)

## 2.6 PARÂMETROS PARA O PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE

Os principais parâmetros para o projeto para o meio ambiente estão enquadrados, em geral, dentro dos conceitos de processos de desenvolvimento de produtos. Na seqüência, são apresentados aqueles encontrados na literatura, em vias de facilitar a compreensão e inserção no projeto de automóveis.

### 2.6.1 Processo de desenvolvimento de produto

Para Pahl et al. (2005), o Processo de Desenvolvimento de Produto é definido como:

*“A atividade crucial no desenvolvimento de um produto e na solução de tarefas consiste em um processo de análise e um subsequente processo de síntese que passa por etapas de trabalho e decisão.”*

Ainda conforme Pahl et al. (2005), além do conteúdo e da funcionalidade do processo, é conveniente e também usual, desdobrar o processo de desenvolvimento e de projeto nas seguintes fases principais:

- a) Planejamento e esclarecimento da tarefa: definição informativa;
- b) Concepção: definição preliminar;
- c) Projeto: definição da configuração;
- d) Detalhamento: definição da tecnologia de produção.

Rozenfeld et al. (2006) sugerem o modelo denominado Modelo de Referência genérico para o desenvolvimento de produto, voltado principalmente para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital. Este modelo engloba desde o planejamento estratégico sobre qual mercado o produto será direcionado até a sua retirada, considerando todo o ciclo de vida do produto.

Com isso, torna-se oportuno uma diferenciação entre os conceitos de ciclo de vida. De acordo com Chrissis, Konrad e Schrum (2003) *apud* Borsato et al. (2008) o ciclo de vida de produto está relacionado ao processo de desenvolvimento de produto e é definido como:

*“Ciclo de vida é todo o período compreendido desde a concepção de um produto até a sua obsolescência, passando pelas etapas de projeto e produção.”*

Um exemplo prático é apresentado na Figura 2.50, com a visualização das fases compreendidas neste conceito.

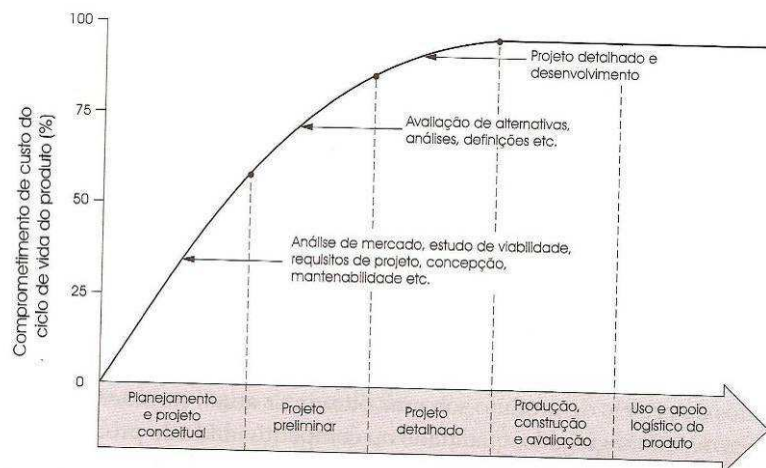


Figura 2.50 - Exemplo do conceito do ciclo de vida: neste caso, são apresentados os efeitos das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto (DOWNEY, 1969 *apud* BACK et al., 2008)

No entanto, este trabalho aborda o conceito de ciclo de vida adotado pela norma ABNT NBR ISO 14040 (2009) que atua com a Avaliação do Ciclo de Vida. Este conceito define ciclo de vida como:

*“Ciclo de vida são estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição de matéria-prima ou geração de recursos naturais até a disposição final.”*

Para atender a abordagem deste conceito de ciclo de vida, a seguir são apresentados algumas estratégias, métodos e ferramentas relacionados com a inserção dos aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos.

### 2.6.2 Métodos

Existem vários métodos, estratégias e ferramentas que são utilizadas no projeto para o meio ambiente. No entanto, vários destes se confundem na prática, principalmente quanto a utilização. Para isso, este trabalho define cada um como sendo:

- a) Estratégia: forma qualitativa pela qual uma empresa ou uma equipe de projeto estabelece seus conceitos, ideologias e filosofias sobre a postura ambiental;
- b) Método: meio sistemático (com saídas qualitativas e quantitativas) pelo qual a equipe de projeto ou os tomadores de decisão estratégica desenvolvem



produtos e serviços com a consideração de aspectos ambientais em todo o ciclo de vida;

- c) Ferramenta: instrumento (em geral com saídas quantitativas) pelo qual a equipe desenvolvedora visualiza os aspectos ambientais nos produtos e serviços analisados.

Com estas definições, conduz-se uma revisão bibliográfica acerca dos métodos de desenvolvimento de produtos existentes e das ferramentas mais usuais. Primeiramente, as Tabelas 2.6 e 2.7 apresentam uma revisão sobre alguns métodos tradicionais utilizados em desenvolvimento de produtos e as respectivas abordagens dos aspectos ambientais.

Tabela 2.6 - Comparação sobre os métodos mais aplicados no desenvolvimento de produtos que abordam ou não os conceitos de desenvolvimento sustentável  
(adaptado de PLATCHECK et al., 2007)

<b>Autor</b>	<b>Características principais do método</b>	<b>Comentário</b>
Back (1983)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Estudo das viabilidades</li> <li>. Projeto preliminar</li> <li>. Projeto detalhado</li> <li>. Revisão e testes</li> <li>. Planejamento da produção</li> <li>. Planejamento do mercado</li> <li>. Planejamento do consumo e manutenção</li> </ul>	Considera alguns conceitos de desenvolvimento sustentável como simplificação e redução de material e subsistemas.
Bonsiepe (1984)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Problematização</li> <li>. Análise</li> <li>. Definição do problema</li> <li>. Projeto preliminar e geração de alternativas</li> <li>. Realização</li> <li>. Análise final da solução</li> </ul>	Considera o processo de criação, porém não considera os conceitos de desenvolvimento sustentável.
Baxter (1995)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Identificação de uma necessidade</li> <li>. Pesquisa de mercado</li> <li>. Análise da competição</li> <li>. Proposta de um novo produto</li> <li>. Especificação da oportunidade</li> <li>. Especificações de projeto</li> </ul>	Não considera os conceitos de desenvolvimento sustentável.
Bomfim (1995)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Criação do produto</li> <li>. Processo de produção</li> <li>. Uso do produto e satisfação das necessidades</li> </ul>	Este autor sugere alguns aspectos de desenvolvimento sustentável como o reuso de partes ou o do todo e a reciclagem de matéria-prima antes da disposição final.
Roozemburg (1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Definição do problema</li> <li>. Valores do sistema</li> <li>. Análise do sistema</li> <li>. Seleção da melhor solução</li> <li>. Planejamento da ação</li> </ul>	Considera os 5R's (Repensar, Retornar, Reduzir, Reusar e Reciclar), porém não descreve como o desenvolvimento de produtos busca o desenvolvimento sustentável.
Bittencourt (2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Reprojeto: Informacional, conceitual, preliminar, detalhado e documentação</li> </ul>	Metodologia aplicada somente para o reprojeto de produtos atuais ao invés da criação de novos produtos que busquem valores sustentáveis.
Abramovitz (2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Planejamento</li> <li>. Estágio analítico</li> <li>. Estágio de Desenvolvimento</li> </ul>	Não considera os conceitos de desenvolvimento sustentável.

Tabela 2.7 - Comparação sobre algumas metodologias de desenvolvimento de produtos

Autor	Características principais do método	Comentário
Pahl et al. (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Planejamento</li> <li>. Projeto informacional</li> <li>. Projeto conceitual</li> <li>. Projeto preliminar</li> <li>. Projeto detalhado</li> </ul>	<p>Aborda o projeto para a reciclagem na fase de projeto preliminar (anteprojeto), utilizando os conceitos da diretriz alemã VDI 2243. Inclui os conceitos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Menor utilização de material por meio de um melhor aproveitamento do material e menos desperdício na produção;</li> <li>. Substituição das peças fabricadas com matérias-primas escassas e, portanto, mais custosas, por outras fabricadas com matérias-primas mais baratas e disponíveis por mais tempo;</li> <li>. Reciclagem por retorno dos refugos de produção, do produto ou dos componentes de um produto para reutilização ou retrabalho.</li> </ul> <p>Aborda também as recomendações da diretriz alemã VDI 2221.</p>
Back et al. (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Planejamento</li> <li>. Projeto informacional</li> <li>. Projeto conceitual</li> <li>. Projeto preliminar</li> <li>. Projeto detalhado</li> <li>. Implementação</li> <li>. Testes</li> <li>. Planejamento da produção</li> <li>. Planejamento do mercado</li> <li>. Planejamento para manutenção, uso, entre outras fases</li> </ul>	<p>Utilização de princípios de projeto, baseados nas fases do desenvolvimento, objetivando produtos menos impactantes ao meio ambiente. Tais princípios envolvem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Minimização de materiais (quantidade, diferenciação, defeitos e que gerem menos resíduos);</li> <li>. Facilidades de desmontagem, reutilização, remanufatura, recondicionamento e facilmente recicláveis;</li> <li>. ACV;</li> <li>. Senso de obsolescência;</li> <li>. Distinção entre processos de desmontagem destrutivos e não-destrutivos;</li> <li>. Minimização de necessidades de embalagens e transportes.</li> </ul>

Considerando o ciclo de vida, tais métodos provêm melhorias visando a diminuição dos impactos ambientais em novos produtos e serviços. Os métodos específicos de projeto para o meio ambiente estão descritos em ordem cronológica na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Métodos de desenvolvimento de produtos que incorporam aspectos ambientais

Método	Referência / Autor	Ano	Origem
LCD ( <i>Life Cycle Design</i> ) / Projeto para o Ciclo de Vida	Keoleian e Menerey / EPA	1993	América do Norte (EUA)
DfE ( <i>Design for Environment</i> ) / Projeto para o Meio Ambiente	Josefh Fiksel	1996	América do Norte (EUA)
Ecologia Industrial	Graedel e Allenby	1997-2003	América do Norte (EUA)
SPD (Sustainable Product Design) Projeto de Produto Sustentável	Martin Charter e Ursula Tischner	2001	Europa (Inglaterra, Alemanha)
Projeto de produtos sustentáveis	Ezio Manzini e Carlo Vezzoli	2002	Europa (Itália)
Ecodesign / Ecoprojeto	ABNT NBR ISO TR 14062 (Norma de gestão ambiental não certificadora traduzida do relatório técnico original da ISO)	2004	Europa (Inicialmente) América do Sul (Traduzida no Brasil)
D4S ou DfS ( <i>Design for Sustainability</i> ) Projeto para a Sustentabilidade	UNEP, Universidade de Delft	2006	Europa (Holanda e países associados)
Incorporação da Avaliação do Ciclo de Vida ao Projeto do Produto	Rafael Justus Barreto	2007	América do Sul (Brasil)

De acordo com Tischner (2001), Brezet e Rocha (2001), Graedel e Allenby (2003), Manzini e Vezzoli (2005), Guelere Filho e Pigosso (2008), existem várias metodologias nas quais os conceitos de *Ecodesign* podem ser aplicados.

Os conceitos de projeto para o ciclo de vida (LCD, *Life Cycle Design*) proposto por Keoleian e Menerey (1993) envolvem o conceito de ciclos no projeto de produto, com as entradas e saídas de cada processo se inter-relacionando e tornando-se co-dependentes.

Para Fiksel (1996), o projeto para o meio ambiente (DfE, *Design for Environment*) a inter-relação entre as práticas de projeto para o meio ambiente é transversal e várias práticas estão associadas. Dentre outros aspectos, considera três parâmetros básicos: projeto para a recuperação e reuso, projeto para desmontagem e projeto para a minimização. Cada um deriva vários métodos e ferramentas e estão associados na forma de uma rede (Figura 2.51).

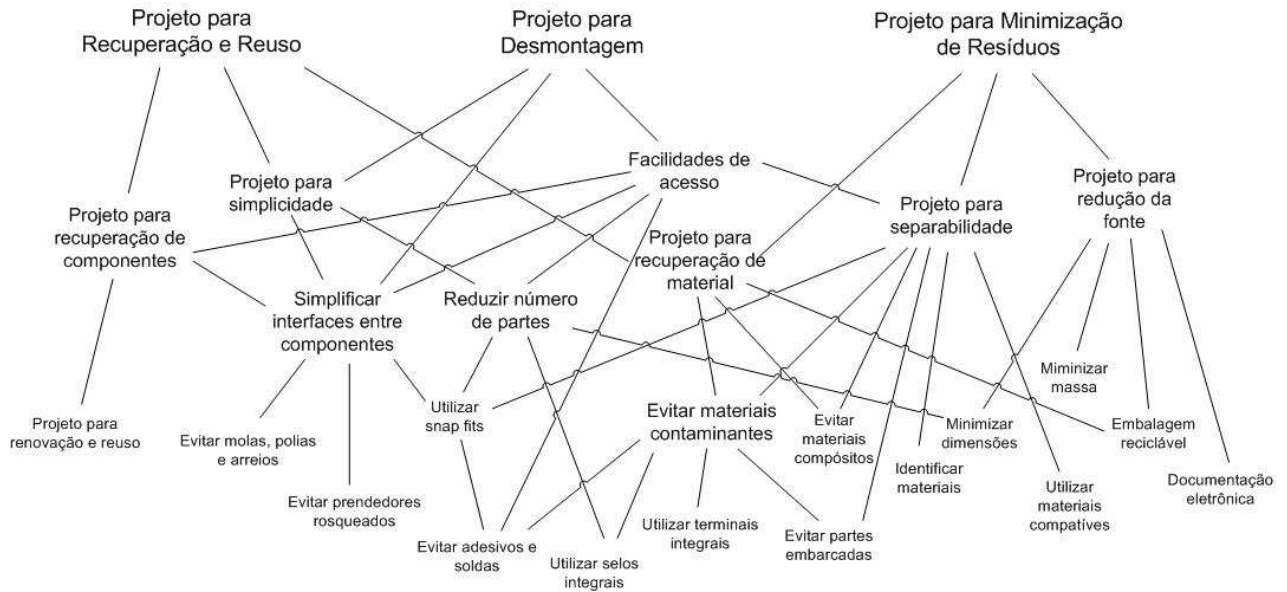


Figura 2.51 - Inter-relação entre as práticas de Projeto para o Meio Ambiente (FIKSEL, 1996)

Para Graedel e Allenby (2003), os projetos de produtos ambientalmente menos impactantes podem ser desenvolvidos enquadrando-os em ecossistemas, tornando cada saída de um processo como entrada de outro. Os conceitos de ecologia industrial são ilustrados pela aplicação de ecoparques industriais, em que são abordados como exemplos de minimização de impactos energéticos e de materiais.

Para Charter e Tischner (2001), as soluções de projeto sustentável incluem os conceitos de ecodesign e demais conceitos de desenvolvimento de produtos, de forma associada e equilibrada com os outros aspectos, interagindo com outras ações das equipes de projeto (Figura 2.52)

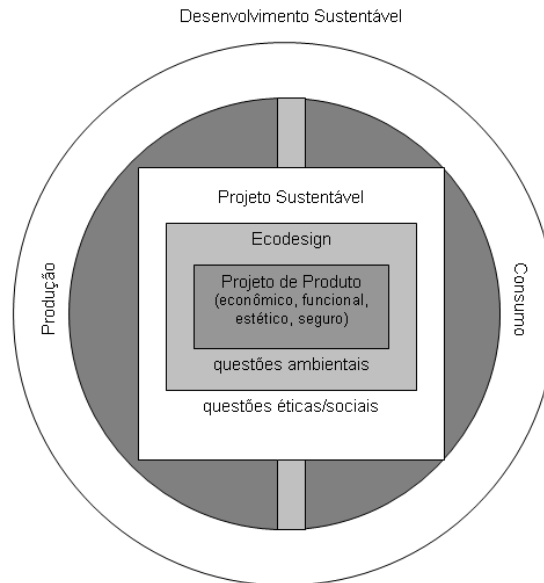


Figura 2.52 - Contextualização de desenvolvimento de produtos sustentáveis  
(CHARTER e TISCHNER, 2001)

Uma outra metodologia utilizada no projeto para o meio ambiente é apresentada pela norma ABNT NBR ISO TR 14062 (2004), a qual define o Ecodesign como a integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produto.

Nesta norma, os estágios típicos do projeto e desenvolvimento de produto são ilustrados a partir de um modelo de integração dos aspectos ambientais. A Figura 2.53 mostra que é principalmente nas fases de Planejamento e de Projeto Conceitual (primeira e segunda fases respectivamente) que ações como a inserção dos resultados da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e a definição das diretrizes de projeto condizentes com requisitos ambientais, tornam-se fundamentais para o projeto de um produto com ciclo de vida menos ambientalmente impactante que um produto atual.

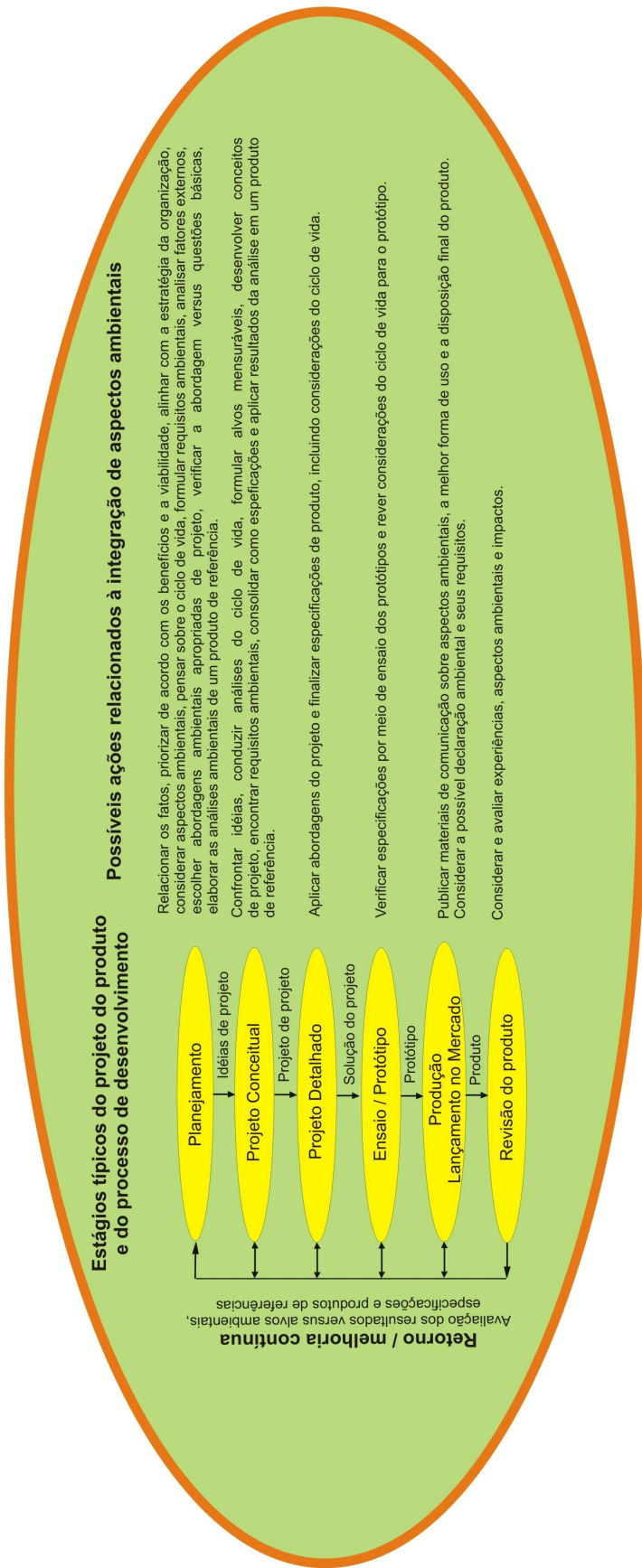


Figura 2.53 - Exemplo de um modelo genérico de integração de aspectos ambientais no projeto e processo de desenvolvimento do produto (adaptado da ABNT NBR ISO TR 14062, 2004)

A metodologia de Projeto para a Sustentabilidade ou D4S (*Design for Sustainability*) apresentada pela UNEP (2006), utiliza o conceito de projeto de produtos voltados para novos negócios e está direcionada para as economias consideradas em desenvolvimento.

Aplica práticas de *brainstorming* (*i.e.* método de geração de idéias) e mapa mental para contextualizar a geração de soluções para um problema de projeto que envolva as questões sociais e ambientais em um determinado produto ou serviço.

Uma forma de incorporar a Avaliação do Ciclo de Vida ao Projeto do Produto é sugerida por Barreto (2007) como exemplo de aplicação no projeto de produtos automotivos (Figura 2.54), mais precisamente em casos de veículos pesados de carga (*i.e.* caminhões, ônibus, entre outros).



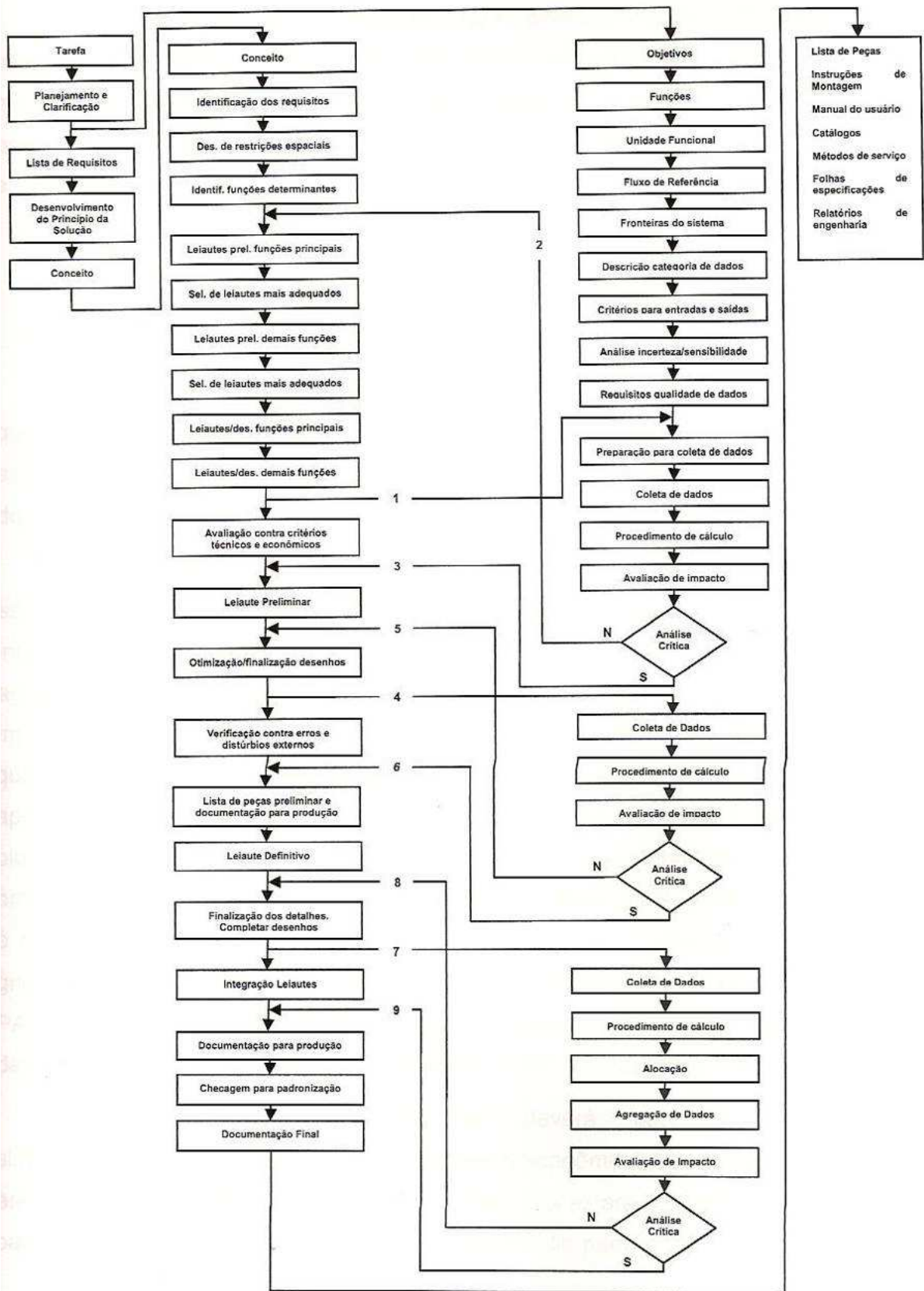


Figura 2.54 - Processo integrado de projeto de produtos e ACV (BARRETO, 2007)

Uma análise criteriosa sobre os dados de entrada e saída, oriundos de aspectos qualitativos e quantitativos é sugerida por Guelere Filho e Pigosso (2008). Nesta análise (Tabela 2.9), estes autores propõem uma classificação sobre as ferramentas utilizadas em projeto para o meio ambiente e não diferenciam métodos (e.g. ACV, LiDS-*wheel*) de ferramentas (e.g. Matriz ecofuncional).

No entanto, mesmo sem a diferenciação, Guelere Filho e Pigosso (2008) abordam a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a Matriz Eco-Funcional, a Casa da Qualidade para o Ambiente (QFDE, *Quality Function Deployment for Environment*), a Matriz MET, a Matriz MECO, a LiDS-*Wheel* (Estratégias de Design para o Ciclo de Vida), a Matriz de Avaliação da Responsabilidade Ambiental do Produto (ERPA, *Environmental Responsibility Product Assessment*), a Matriz de Projeto para o Meio Ambiente (*DfE Matrix*), As Dez Regras de Ouro, a Análise ABC e a Análise do Efeito Ambiental (EEA, *Environmental Effect Analysis*).

Tabela 2.9 - Análise dos métodos e ferramentas, classificados em função dos dados de entrada e saída e da natureza (GUELERE FILHO e PIGOSSO, 2008)

Métodos / Ferramentas	Dados de Entrada		Dados de Saída	
	Descrição	Natureza	Descrição	Natureza
Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	Quantidade e tipo de materiais e energia utilizados	Quantitativa	Análise da contribuição de impacto de cada fase do ciclo de vida do produto	Qualitativa e Quantitativa
	Inventário do ciclo de vida com todas as entradas e saídas relevantes		Identificação de todos os impactos ambientais	
	Caracterização completa do produto		Fornecer novas idéias para redução dos impactos ambientais potenciais matendo a função do produto	
Matriz Eco-Funcional	Caracterização do produto	Qualitativa	Identificação de pontos críticos entre os requisitos funcionais e ambientais e <i>trade-offs</i>	Qualitativa
	Requisitos funcionais do produto			
Casa da Qualidade para o Ambiente (QFDE)	Benefício ao cliente e comportamento do usuário	Semi-Quantitativa	Unidades funcionais que devem ser focadas no design do produto	Semi-Quantitativa
	Requisitos ambientais do produto			
	Voz do Consumidor (VOC)			
	Métricas de Engenharia			
	Requisitos dos clientes para o produto			
Matriz MET	Emissões Tóxicas	Qualitativa e Quantitativa	Identificação dos problemas e impactos ambientais mais importantes e significativos	Qualitativa e Quantitativa
	Materiais utilizados			
	Consumo de energia			
MECO (Materiais, Energia, Químicos e Outros)	Materiais utilizados	Quantitativa	Identificação dos aspectos ambientais críticos do produto	Qualitativa e Quantitativa
	Consumo de energia			
	Tipo e quantidade de químicos utilizados			

Tabela 2.9 (continuação) - Análise dos métodos e ferramentas, classificados em função dos dados de entrada e saída e da natureza (GUELERE FILHO e PIGOSSO, 2008)

Métodos / Ferramentas	Dados de Entrada		Dados de Saída		
	Descrição	Natureza	Descrição	Natureza	
<i>LiDS-wheel</i> (Estratégias de Design para o Ciclo de Vida)	Informação básica sobre o produto	Qualitativa	Potenciais de melhorias ambientais	Qualitativa	
Matriz de Avaliação da Responsabilidade Ambiental do Produto ( <i>ERPA</i> )	Escolha de materiais	Qualitativa	Pontuação total do desempenho ambiental do produto	Qualitativa	
	Consumo de energia				
	Resíduos sólidos				
	Efluentes líquidos				
	Emissões gasosas				
Matriz de Design para o Meio Ambiente ( <i>DfE Matrix</i> )	Informação dos fornecedores	Semi-Quantitativa	Pontuação do design de um produto como parte de sua avaliação total	Qualitativa e Semi-Quantitativa	
	Materiais utilizados		Comparação de alternativas de design de um produto		
	Definição do processo de manufatura				
	Informações da embalagem				
	Uso e manutenção do produto				
	Informações sobre o fim de vida do produto				Áreas em que as mudanças de design são imperativas a partir de um ponto de vista ambiental
Análise ABC	Especificações do produto	Quantitativa	Classificação do produto em áreas de acordo com o seu impacto ambiental	Qualitativa	
Dez Regras de Ouro	Conceito do produto	Qualitativa	Identificação de melhorias para o desempenho ambiental do produto	Qualitativa	
Análise do Efeito Ambiental ( <i>EEA</i> )	ACV Prévio	Qualitativa	Identificação do foco da Avaliação do Ciclo de Vida em uma área específica	Qualitativa	
	Requisitos ambientais e funcionais do produto				
	Requisitos legais e outros				Verificação das conformidades legais do produto
	Realização de QFD para determinação da demanda dos clientes				Aplicação do <i>EEA</i> no projeto detalhado
	Objetivos e metas internas				Requisitos de design

Vários destes métodos e ferramentas analisados por Guelere Filho e Pigosso (2008) são classificados de acordo com Tischner (2001), em uma correlação por requisitos de complexidade (tempo de implementação) em função da proposta de cada ferramenta (Figura 2.55).

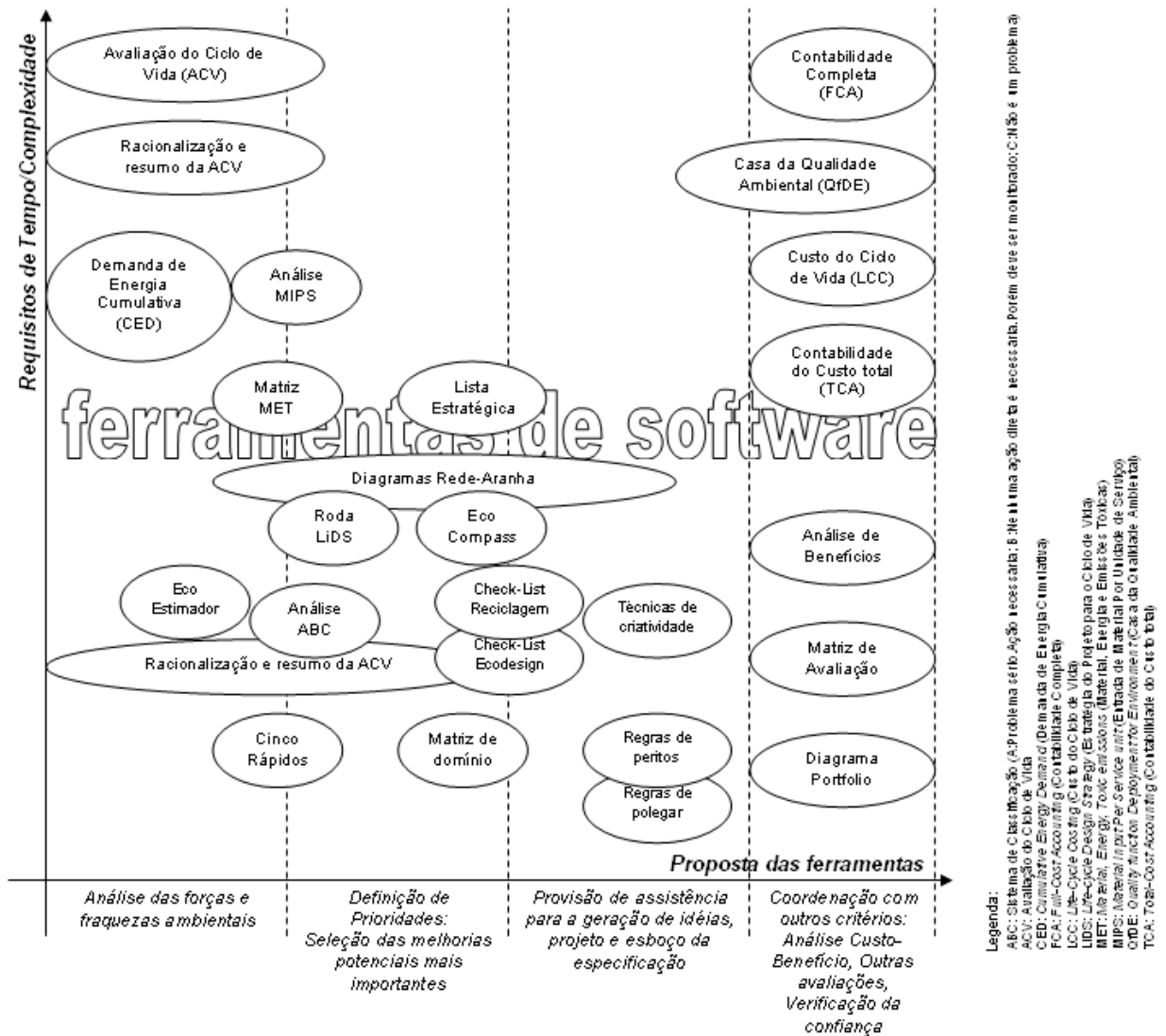


Figura 2.55 - Classificação das ferramentas que são utilizadas para ecodesign e projeto sustentável e seus respectivos usos no processo de desenvolvimento de produto (TISCHNER, 2001)

Pode-se perceber que existe uma grande variação no que tange o campo de aplicação de cada método e ferramenta. Assim como Guelere Filho e Pigosso (2008) não dissociaram método de ferramenta, Tischner (2001) propõe uma abordagem relacionada ao tipo de atividade. Se em um extremo há a ACV, com as forças e fraquezas, em outro estão os custos do ciclo de vida.

Diante disso, resta a equipe de projeto e desenvolvimento definir com quais métodos e/ou ferrametas deseja utilizar em acordo com os planos estratégicos de prospecção de cada fabricante.

## 2.7 ESTUDO DOS PROJETOS DE VEÍCULOS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS RECICLÁVEIS NO BRASIL

Existem cinco alternativas de veículos para a coleta de resíduos sólidos recicláveis em municípios brasileiros. Esta seção abordará aqueles que são utilizados pelos agentes de coleta e exemplos de veículos concebidos seguindo preconizações de projeto de produto.

Os veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis são classificados segundo a forma de tração e podem caracterizados em: humana, animal, mecânica (com força humana) e motorizada (Figura 2.56). Esta classificação está dentro do enquadramento do artigo nº 96 do Código de Trânsito Brasileiro (Lei Federal nº 9503 de 1997), conceituada no Anexo I desta lei (Dos Conceitos e Definições) item 4.1.1, o qual classifica os veículos quanto à tração: automotores, elétricos, propulsão humana, tração animal e reboques ou semi-reboques.

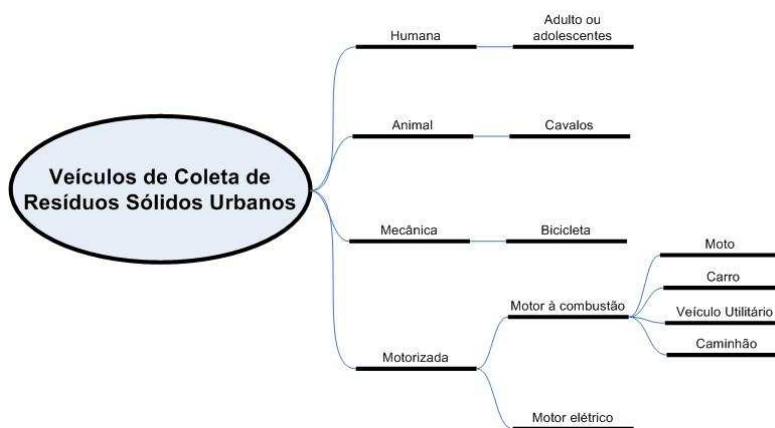








Figura 2.56 - Principais formas de tração dos veículos utilizados para coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis

Em uma classificação mais detalhada, são incluídos o tipo de agente de coleta, o tipo de veículo, o detalhamento da capacidade de carga de cada veículo (*i.e.* quantidade coletada) e o número de viagens em um determinado período temporal (*i.e.* dia, semana) em que o operador logístico realiza a coleta de resíduos (Tabela 2.10).

Tabela 2.10 - Classificação dos tipos de veículos mais comuns encontrados nas ruas de Curitiba para a coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis. Imagens registradas pelo autor em: (a) 13/11/2006; (b) 23/07/2007; (c) 08/03/2008; (d) 13/07/2007; (e) 30/09/2008; (f) 08/08/2007

Agente de coleta	Tipo de Veículo	Foto	Quantidade coletada	Nº de viagens por semana
Empresa terceirizada da prefeitura do município	<u>Tração Motorizada</u> Caminhão tipo baú com motor à combustão	(a) 	De 1.000 a 3.000 kg/viagem	De 0 a 2
Autônomos ou relacionados a empresas particulares ou relacionados a cooperativas não apoiadas pela prefeitura	<u>Tração Motorizada</u> Veículo utilitário, com motor à combustão, em condições de uso limitadas	(b) 	De 500 a 1.000 kg/viagem	De 0 a 02
	<u>Tração animal</u> Utilização de um ou mais cavalos	(c) 	De 300 a 600 kg/viagem	De 0 a 5
	<u>Tração Humana-Mecânica</u> Bicicleta acoplada	(d) 	De 100 a 300 kg/viagem	De 05 a 07
Relacionados a cooperativas de catadores apoiadas pela prefeitura	<u>Tração Humana</u> Veículo movido à empurrão	(e) 	De 100 a 300 kg/viagem	De 05 a 07
Utilizam a família inteira para trabalhar na coleta ou utilizam mão-de-obra infantil ou escravizados		(f) 	De 100 a 300 kg/viagem	De 05 a 07



No caso específico deste estudo, é analisada a função realizada pelos veículos movidos a empurrão. Estes consistem em vários modelos e criações, muitas das quais são improvisadas pelos inventores e contam com a reutilização de materiais diversos (Figura 2.57).



Figura 2.57 - Diversas concepções de veículos, com várias formas de tração, utilizados por agentes de coleta no Brasil (MNCMR, 2010)

Além dos projetos de veículos já desenvolvidos, a problemática persiste na interface da tarefa do agente de coleta. A partir disso, na seqüência são apresentados alguns casos de projetos de veículos à tração humana (movidos a empurrão e com acoplamento mecânico) para facilitar o trabalho e melhorar as condições dos usuários.

Siqueira et al. (2006), analisaram quatro veículos nas ruas do município de Lorena (SP) e concluíram que todos atendem satisfatoriamente seus objetivos em termos de funcionalidade. No entanto, são projetados baseados em improvisos (Figura 2.58).



Figura 2.58 - Exemplos de veículos analisados no município de Lorena (SP) (SIQUEIRA et al., 2006)

A partir de uma pesquisa com os agentes de coleta, verificaram que em grande parte estes veículos são construídos basicamente com gabinetes usados de geladeiras já descartadas (*i.e.* revestimento interno), caixotes feitos com restos de



madeiras ou gaiolas feitas com perfis de metalon e tubos de aço de 1/2” polegada, tendo a sustentação dos eixos de rodagens feitos de garfos reaproveitados de bicicletas ou de chapas de aço dobradas.

Além disso, definiram algumas características limitadoras como o uso inadequado de materiais, peso excessivo transportado, sistema de rodas inadequado, dimensionamento não ergonômico, péssimo acabamento, *design* precário, falta de manutenção e de equipamentos de segurança.

Ao realizarem uma análise estrutural do sistema, Siqueira et al. (2006), procuraram associar os materiais aplicados à função de cada componente (Tabela 2.11).

Tabela 2.11 - Sistema material função (SIQUEIRA et al., 2006)

Sistema	Material	Função
Caixa	Gabinete de aço Madeira Tubos de aço	Armazenamento
Braço	Batentes e ripas Tubos de aço	Ajudar na locomoção do veículo
Rodagem	Aço Alumínio	Locomoção e sustentação do veículo
Pneu	Borracha	Absorção de impacto e desgaste por atrito
Sustentação de rodagem	Aço	União permanente do sistema de rodagem do veículo

Além dos aspectos técnicos dos veículos utilizados, Siqueira et al. (2006) analisaram o perfil dos usuários e verificaram que estes tipos de veículos são utilizados por pessoas de ambos os sexos e com idades variadas acima dos dez anos de idade, não existindo predominância de sexo e nível de instrução.

As necessidades do usuário identificadas foram: facilidade e comodidade ao locomover-se com o veículo; grande capacidade de armazenamento do veículo; estética; segurança; baixo custo; durabilidade; e fácil manutenção. Estas necessidades foram coletadas por meio de questionários aplicados junto aos agentes de coleta e, com base nos resultados da análise e dos similares pesquisados, foram geradas três alternativas para um novo veículo (Figura 2.59).

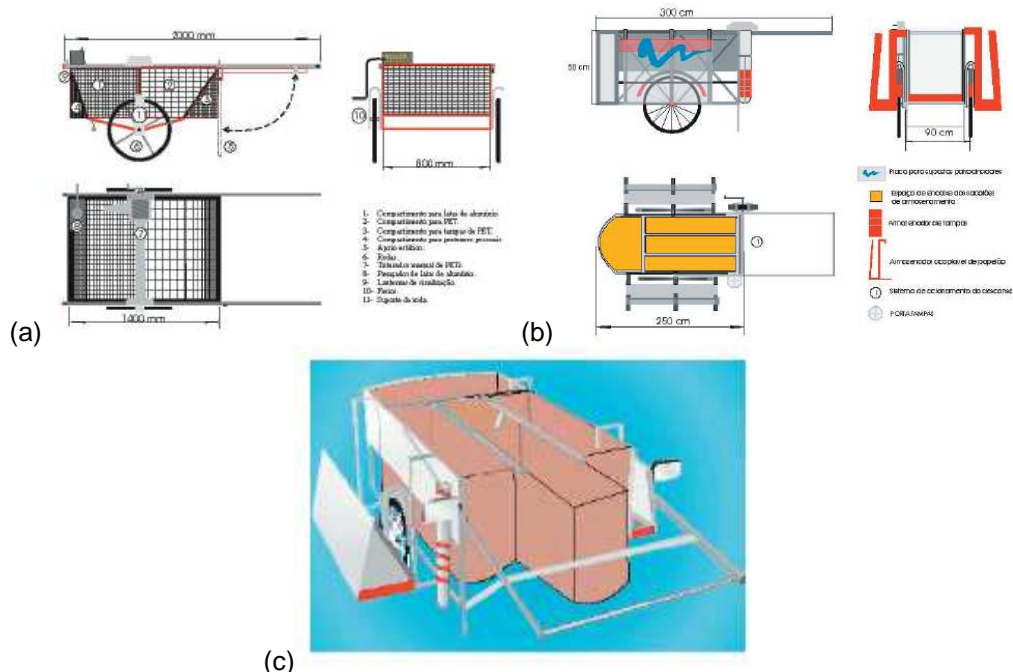


Figura 2.59 - Veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis: protótipos virtuais: (a); (b);e (c) (SIQUEIRA et al., 2006)

Com esta pesquisa, Siqueira et al. (2006) evidenciaram que os veículos que estão em uso seguem praticamente o mesmo modelo, e os que tentaram sair deste padrão não se preocuparam em fazer um projeto adequado no atendimento aos aspectos ergonômicos, por exemplo.

Um outro projeto, realizado em 2006 na parceria entre o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), envolveu a aplicação de uma metodologia mais completa de desenvolvimento de produto.

Utilizando o método de desenvolvimento de produtos proposto por Pahl et al. (2005), os desenvolvedores (compostos de dois professores doutores e dois alunos de graduação, das áreas de Engenharia Industrial Mecânica, Tecnologia Mecânica, Engenharia da Manufatura e Engenharia de Materiais) definiram as etapas de acordo com a Tabela 2.12.

Tabela 2.12 - Etapas de projeto e desenvolvimento de um veículo coletor de resíduos sólidos urbanos recicláveis utilizados no projeto (UTFPR, 2006)

Etapa	Subetapa
a) Projeto informacional (clarificação da tarefa)	Observação, <i>benchmarking</i> e entrevista.
b) Projeto conceitual	Desdobramento da função qualidade, QFD, especificações de projeto, função global, estrutura funcional, geração das soluções (métodos intuitivos e sistemáticos) e avaliação das concepções.
c) Projeto preliminar	Propagação de Restrição e estudo de análise de tensões mecânicas e estruturais.
d) Projeto detalhado	Desenhos técnicos, elaboração de uma lista de materiais e construção do protótipo.
e) Construção do protótipo	Aplicação de processos de fabricação mecânica e usinagem.
f) Testes em campo	Testes sobre o desempenho do sistema de freios e dirigibilidade, utilização dos sistemas de hastes telescópicas (para aumento do volume de material a ser transportado), eficiência da proteção dos usuários às intempéries, desempenho do manípulo, uso do banco para descanso e dos pezinhos, eficiência dos aspectos de segurança implementados, além dos aspectos gerais do uso sistema de coleta de material reciclável nos mais diferentes tipos de terrenos, condições climáticas e volumes transportados.

Com o emprego desta metodologia, foram considerados: *i)* características funcionais; *ii)* aspectos físicos dos sistemas atuais; e *iii)* procedimentos empregados pelas pessoas na atividade. Além destes, alguns aspectos merecem destaque, tais como a preocupação com a eficiência na atividade (*i.e.* mínimo desgaste físico do usuário durante a viagem) e a preocupação com a sinalização e comunicação com o trânsito.

A partir de uma pesquisa de campo e de um *benchmarking* fotográfico, foram identificadas a falta de padrão de vários itens e a grande variedade de modelos de sistemas de coleta existentes.

Com isso, a equipe UTFPR-IAP concluiu que: todos os veículos possuíam freio por atrito contra o solo, utilizando normalmente um pneu amarrado ao fundo do veículo; existiam três modelos de veículo referentes ao material de construção (os de aço carbono, os de madeira e os de madeira e aço); existiam pelo menos quatro modelos de roda: as de automóvel, as de moto, as de bicicleta e as de carriola.

Além disso, a equipe UTFPR-IAP identificou que: poucos veículos possuíam algum tipo de equipamento de segurança como espelhos retrovisores ou placas refletoras; não existia comunicação efetiva entre o agente de coleta e o trânsito; a pré-seleção realizada na coleta era feita apenas para alguns tipos de materiais como garrafas PET e latas de alumínio; a maioria possuía um local no veículo destinado a guardar pertences pessoais (*e.g.* mochilas, cestas amarradas na tela, entre outros);

quando necessário aumentavam a altura do veículo para comportar mais material mediante o uso de cabos de vassoura e papelão (UTFPR, 2006).

Uma outra saída relevante identificada foi a especificação de projeto, a qual mostra exemplos de requisitos definidos pelos agentes de coleta (Tabela 2.13).

Tabela 2.13 - Excerto das especificações do projeto do veículo de coleta (UTFPR, 2006)

<b>Requisitos</b>	<b>Objetivos</b>
Massa aproximada do veículo	95 kg
Massa a ser transportada	400 kg
Altura com hastes recolhidas	1,80 m
Altura com hastes levantadas	2,60 m
Volume com hastes recolhidas	4 m <sup>3</sup>
Volume com hastes levantadas	6 m <sup>3</sup>
Tempo de vida	Até 10 anos
Peças padronizadas	65%
Custo aproximado	R\$ 650,00

Com a combinação das alternativas propostas para cada função em uma matriz morfológica, a equipe UTFPR-IAP definiu algumas soluções de concepções que contemplavam diversas soluções frente à problemática proposta pela estrutura funcional do projeto do veículo.

Algumas características que foram direcionadas para a concepção final foram: projeto simples; peso reduzido; custo baixo; segurança; conforto e ergonomia. Alguns itens (e.g. estrutura, semi-eixo e freio) requereram um estudo diferenciado devido à sua importância funcional e estrutural, permitindo uma avaliação muito próxima a real, com os resultados de análise de tensões mecânicas nestes componentes. A Figura 2.60 apresenta, de forma resumida, as etapas de desenvolvimento do veículo de coleta da equipe UTFPR-IAP.

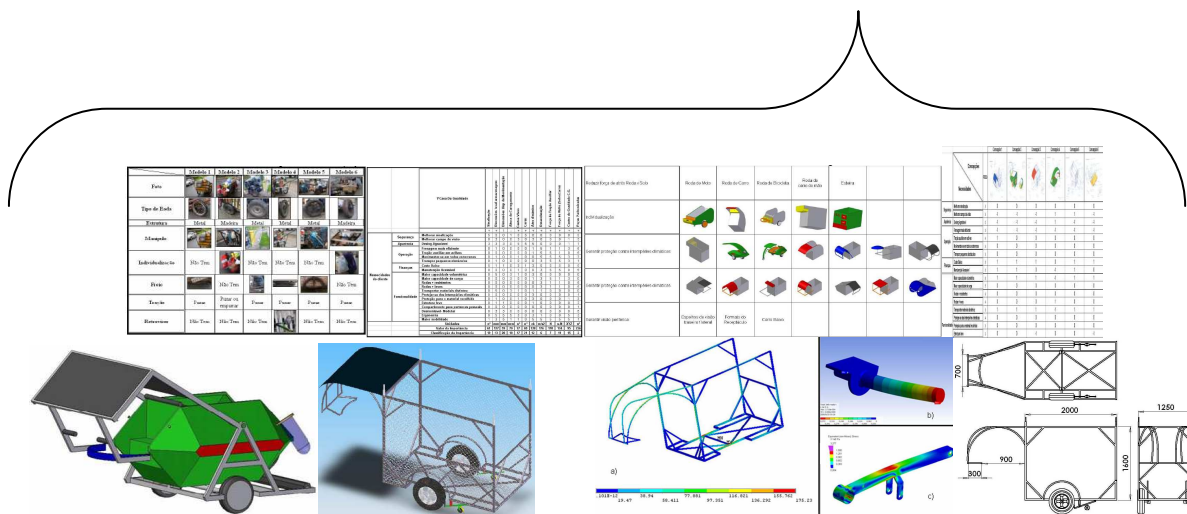


Figura 2.60 - Resumo das principais etapas de desenvolvimento do veículo de coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis (adaptado de UTFPR, 2006)

Para a concepção realizada, outros itens foram listados, porém não implementados. Tais itens envolveriam: a utilização de material reciclável na construção de alguns itens do protótipo (e.g. capota, tela lateral, carenagem, refletores e outros); a realização de ajustes no sistema de frenagem (que só poderiam ser realizados após um período de testes em campo); a possibilidade de uso de sistema de tração auxiliar, principalmente quando da necessidade de início de movimento em acíves; a reavaliação de alguns componentes estruturais visando a redução de peso e de custos.

Carvalho, Yamamoto e Araújo (s/data), acadêmicos de graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Educação da Universidade de Brasília, desenvolveram um projeto de um triciclo para a disciplina de Projeto 3 (Economia Solidária e Educação).

A partir de estudos sobre a forma de organização econômica e social dos agentes de coleta, que incluíram a visita destes acadêmicos a algumas cooperativas populares, os acadêmicos puderam observar que o transporte do material reciclável era realizado pela tração animal e humana.

Em contato com os cooperados da cooperativa Fundamental, situada em Planaltina, Distrito Federal, e com o apoio da Incubadora Social e Solidária do Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico (CDT), os acadêmicos dialogaram com os cooperados sobre um equipamento de transporte, que fizesse uso de engrenagens com a finalidade de reduzir o esforço necessário para o transporte de recicláveis e aumentasse a capacidade de carga.

Com isso, chegaram ao projeto de um triciclo de carga (Figura 2.61), que trata-se de um equipamento que se destina a transportar carga e que possui características semelhantes às de um reboque, porém, não se destina a ser tracionado por um veículo automotor.



Figura 2.61 - Triciclo de carga (CARVALHO, YAMAMOTO e ARAÚJO, s/data)

Possui um sistema mecânico de movimentação (engrenagens) e dispõe de sistema de freios. Sua massa é de aproximadamente 25 kg e capacidade para transportar até 400 kg de carga.

Com uma estrutura reforçada a flexão é evitada e a capacidade de carga é aumentada. A dimensão da caçamba é de 1,10m (comprimento) por 0,7m (largura) e 0,7m (altura). As rodas do triciclo possuem um cubo de roda de aço reforçado, chamado comercialmente de “*velosteel*”, e diâmetro maior assim como raios duplos para aumento de sua resistência.

Possui um sistema de freios com cinco freios do estilo *v-brake*, sendo dois em cada roda traseira e um na roda dianteira. Os quatro freios traseiros são acionados na manete direita do guidão e o dianteiro, na esquerda. Cada freio é composto basicamente de um conduíte, um cabo de aço, uma alavanca e um sistema com



duas sapatas que se atritam com o aro, com a intensidade em que é pressionada a alavanca. Entre o conduíte e o sistema de sapatas há uma peça chamada *balinger*, que permite ajustar a tensão do cabo de aço (Figura 2.62).

O ângulo de caster (*i.e.* é o ângulo do pino mestre em relação à linha vertical, que passa pelo centro da roda olhando-se o veículo de lado) é de  $26,5^\circ$  e proporciona firmeza e estabilidade à direção permitindo dirigir em linha reta com menor esforço.

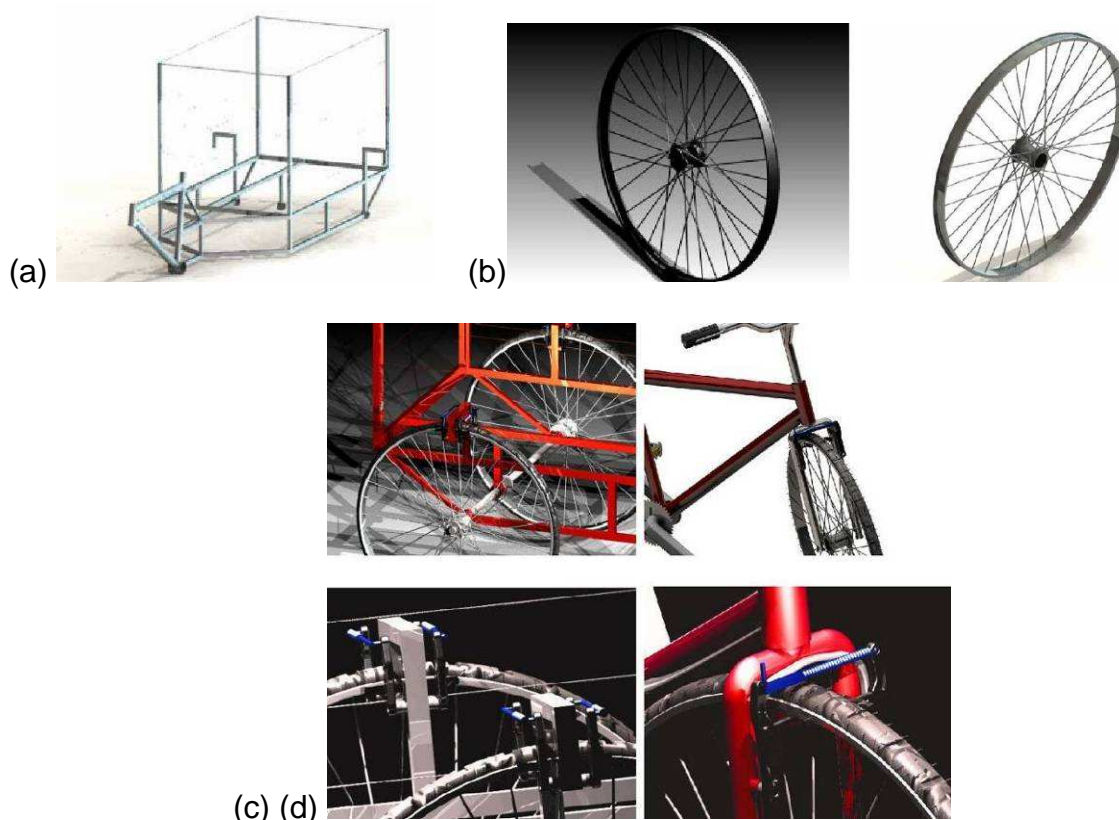


Figura 2.62 - Detalhamento dos componentes do triciclo de carga: (a) chassi; (b) rodas; (c) caçamba e quadro; (d) sistema de frenagem

(CARVALHO, YAMAMOTO e ARAÚJO, s/data)

Além destas características, com um veículo mais veloz, os agentes de coleta podem coletar mais resíduos, realizar mais viagens com rotas mais curtas.

Autores e criadores de diversas partes do Brasil, principalmente oriundos de universidades, submeteram diversas criações para o Concurso *Design* de Caráter Social, promovido pelo Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior para *design* de veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis (PROGRAMA BRASILEIRO DO *DESIGN*, 2005).

Os modelos conceituais, prototipados tanto virtualmente (proposto por Siqueira et al., 2006) quanto confeccionados e testados em campo (proposto pela equipe UTFPR-IAP em 2006) e mais oito modelos de protótipos movidos a empurrão apresentados no Concurso *Design* de Caráter Social, foram classificados em uma matriz de *benchmarking* (Tabela 2.14), além do triciclo apresentado pelos alunos da UnB e de acessórios de reboque para bicicletas.

Os custos, quando informados, variavam de R\$ 223,60 a R\$ 1.300,00 (valores considerados somente para os veículos movidos à empurrão). Os materiais são variados, porém utilizam a mesma base que os materiais apresentados nos protótipos por Siqueira et al. (2006) e pela equipe da UTFPR-IAP em 2006.





## 2.8 VEÍCULOS MOTORIZADOS PARA COLETA DE RESÍDUOS

### 2.8.1 Veículos com motor a combustão: impactos durante a utilização

Os veículos com motor de combustão interna, devido à queima de combustíveis fósseis, contribuem para a problemática da emissão de gases alcançando índices nocivos à saúde humana e aumento da sobrecarga de vários impactos ambientais<sup>6</sup> (e.g. mudanças climáticas, acidificação, formação de ozônio troposférico, entre outros) considerados pelos inventários nas ACVs.

As mudanças climáticas são em geral provenientes de fontes emissoras atmosféricas diversas (*i.e.* pontos fixos como plantações, uso de fertilizantes, agricultura intensiva, incêndios, desflorestamento, aterros sanitários, indústrias, e pontos móveis como transportes com motor à combustão) em contato com fatores meteorológicos como vento e precipitação (HEIJUBGS et al., 1992).

A partir disso, podem ocorrer ações diversas como chuvas ácidas, que podem neutralizar solos, e aquecimento da temperatura e acúmulo de particulados, que podem causar doenças e infecções respiratórias (Figura 2.63).

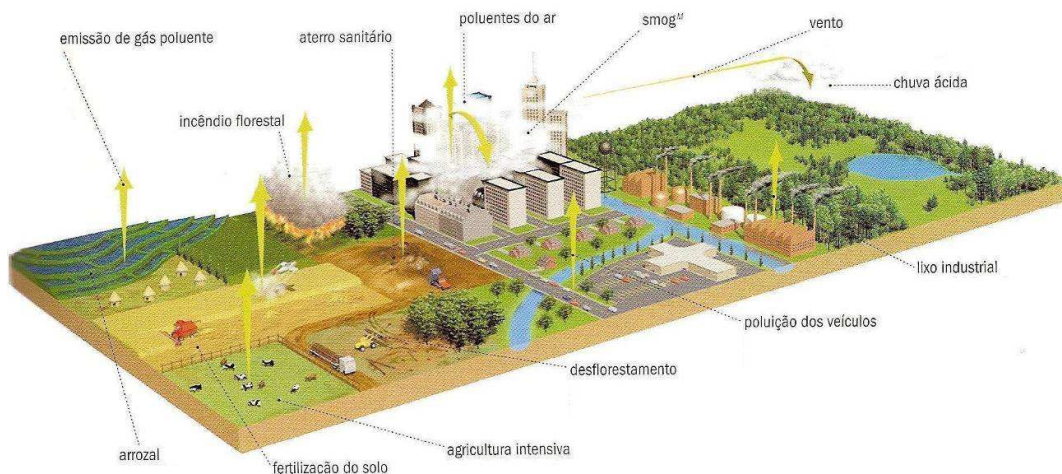


Figura 2.63 - Mudanças climáticas: ilustração das fontes geradoras da poluição atmosférica e efeitos relacionados (CORBEIL e ARCHAMBAUL, 2007)

Em alguns casos, dependendo da estação do ano, fenômenos como a inversão térmica (*i.e.* *smog*) podem saturar a temperatura e o acúmulo de ar em determinadas

<sup>6</sup> Qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização (ABNT NBR ISO 14001 (2004); ABNT NBR ISO 14040 (2009); ABNT NBR ISO TR 14062 (2004)).

regiões. No caso de Curitiba (PR), o fenômeno é comum durante o inverno (Figura 2.64).



Figura 2.64 - Exemplo de *smog* na cidade de Curitiba PR (imagem registrada pelo autor em 17 de julho de 2008, no morro do Canal na Serra do Mar do Estado do Paraná, a cerca de 60 quilômetros do marco zero de Curitiba)

Já a acidificação (Figura 2.65), ou seja, impactos ocorridos no solo e na água a partir das emissões de substâncias principalmente como o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), podem causar a contaminação dos solos, degradação de florestas, mortalidade de peixes em lagos e destruição de construções diversas (ARENA e CIVIT, 2007 e HEIJUBGS et al., 1992).

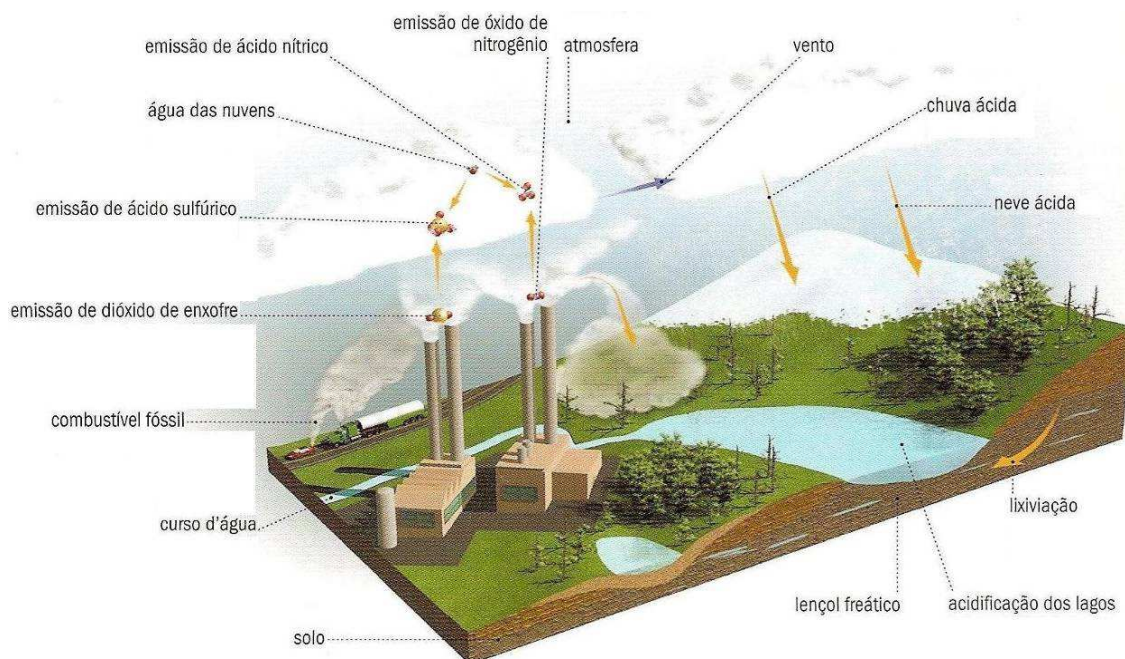


Figura 2.65 - Acidificação: ilustração das fontes geradoras e efeitos relacionados (CORBEIL e ARCHAMBAUL, 2007)



A formação de foto-oxidantes, principalmente como o ozônio ( $O_3$ ) e o PAN (Peroxí-Acetil-Nitrato), causa o ozônio troposférico. Na presença de luz solar, aqueles são formados de hidrocarbonetos (HC), monóxidos de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) (HEIJUNGS et al., 1992).

No caso das mudanças climáticas, o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) é utilizado como base de cálculo para potencial de aquecimento global (GWP, *Global Warming Potential*).

Gore (2006) afirma que desastres naturais de amplitudes diversas estão acontecendo no mundo, em proporções jamais vistas pela humanidade. Parte destes desastres ocorre em consequência dos altos padrões de consumo e da extensa produção industrial, sobretudo baseada no consumo de recursos de fontes não renováveis como o petróleo.

Para Braga (2002), os produtos obtidos a partir do fracionamento de combustíveis fósseis, tais como a gasolina, o óleo diesel, o querosene, entre outros, são classificados como de fontes não renováveis.

Na área da mobilidade, os paradigmas humanos relacionados à forma de se locomover e à matriz energética, na qual a frota automotiva é introduzida para o mercado consumidor, alcançaram níveis que já ultrapassaram a marca de milhares de toneladas emitidas até 2002 (UGAYA, 2005).

Milhares de toneladas de emissões de óxidos de nitrogênio (um dos principais contribuintes para o impacto de acidificação juntamente com óxidos de enxofre) e monóxido de carbono (principal contribuinte para o impacto de efeito estufa) fornecem os indicadores que justificam o porquê que novos automóveis necessitam serem repensados (Figura 2.66). O grande salto nas emissões mostra-se no final da década de 1970 e início de 1980.

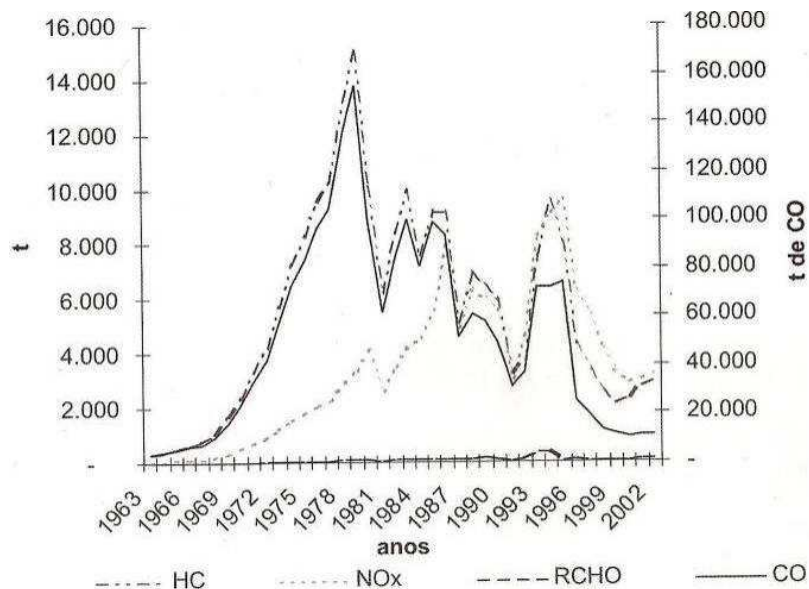


Figura 2.66 - Estimativa de emissões de poluentes em 2002 no Brasil, em função da idade da frota automotiva (UGAYA, 2005)

Esta abordagem torna-se pertinente, visto que a motorização para a coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis não é apenas uma tendência como uma realidade.

Neste sentido, conforme abordado na seção 2.1, há vários veículos tripulados sem condições de uso ou com condições limitadas e que colocam em risco não apenas o motorista e passageiro como também o trânsito.

Na busca por melhorias da qualidade de vida no trabalho dos agentes de coleta, a fabricante TecScan de Minas Gerais criou uma solução interessante, de veículo não tripulado, movido a puxão, com motor de combustão. Trata-se do “Coletortec” (Figura 2.67), nome comercial dado para o veículo.



(a) veículo vazio



(b) veículo em utilização

Figura 2.67 - Coletortec (TECSCAN, 2009)

O “Coletortec” possui uma massa própria de 150 kg e capacidade de carga de 500 kg. A motorização conta com um motor à combustão interna de quatro tempos, além de uma transmissão diferencial com três marchas a frente e uma a ré, com velocidades que variam de 2 a 7 km/h. A frenagem se dá com freio a disco (hidráulico) nas rodas traseiras e por sapatas (mecânicos) nas dianteiras.

O acionamento do veículo se dá por duas manoplas (direita e esquerda), uma para cada mão do usuário, além de servirem como apoio. As estruturas do chassi e do container são em aço. Os pneus e rodas são de aro de oito polegadas. A sinalização utiliza retrovisores com espelhos duplos (direito e esquerdo) e refletores homologados e enquadrados dentro das exigências do CONTRAN.

No entanto, o fato de utilizar motor à combustão pode penalizar a intenção de otimizar o transporte de resíduos e auxiliar os agentes de coleta. Para isso, os veículos elétricos tendem a ser uma boa alternativa.

### **2.8.2 Veículos Elétricos: breve histórico e contextualização**

Os primeiros veículos elétricos datam do século XIX (AUTOINSURANCE, 2009), mas foi somente após os trabalhos com pilhas combustíveis no domínio espacial e sobre os impactos de crises sucessivas de petróleo na década de 1970, que os construtores automotivos começaram a se interessar a título experimental por um veículo de tração movido à energia elétrica. No Anexo A, há a descrição da linha do tempo e evolução das concepções dos veículos elétricos no mundo.

Os veículos elétricos utilizam pelo menos um motor elétrico em sua tração, em que se combinam a alta eficiência energética, o baixo nível de ruído e a reduzida ou nenhuma emissão de poluentes. São confortáveis e apresentam baixo custo operacional. Como diferentes fontes de energia podem ser utilizadas, verifica-se que o termo veículo elétrico (VE) engloba uma ampla gama de configurações entre si e que também se encontram em estágios distintos de desenvolvimento (Figura 2.68). Os VEs podem ser classificados em grandes famílias (SANTOS, 2009).

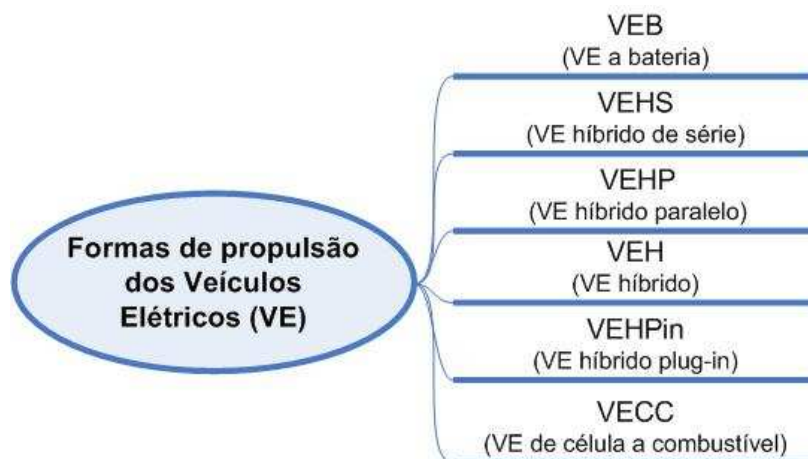


Figura 2.68 - Configurações da propulsão elétrica em veículos (adaptado de SANTOS, 2009)

As configurações citadas na Figura 2.68 são descritas por Santos (2009) da seguinte forma:

a) VE a bateria (VEB): é acionado por um ou mais motor elétrico, cuja energia é suprida por uma ou mais baterias instaladas a bordo;

b) VE híbrido de série (VEHS): nessa arquitetura, o motor de combustão interna (MCI) aciona um gerador elétrico, cuja energia tanto pode carregar as baterias quanto alimentar o motor elétrico que, por sua vez, aciona as rodas;

c) VE híbrido paralelo (VEHP): para atender ao mercado tradicional do veículo a motor de combustão, tanto para âmbito urbano quanto para as estradas, este foi criado para fornecer ao usuário todas as condições nas quais ele está acostumado com o veículo de MCI, independentemente das condições de tráfego. Nele, o MCI também pode acionar as rodas diretamente em condições específicas. Por exemplo, se o VEH está andando em alta velocidade e o controlador do veículo verificar que essa é a condição ótima, só o MCI aciona diretamente as rodas, reduzindo as perdas do gerador/motor elétrico e da bateria, aumentando a eficiência do VEH. Contudo, para a máxima aceleração ou atingir a velocidade máxima, os dois motores funcionam em conjunto;

d) VE híbrido (VEH): de modo simplificado, é um veículo acionado por um motor elétrico cuja energia é suprida por um gerador e uma bateria instalados a bordo. O termo “híbrido” se deve ao fato que no seu acionamento ele conta com um MCI, usado nos veículos convencionais, e também um motor elétrico, que aciona o

veículo. O MCI alimenta o motor elétrico e a bateria e, em algumas configurações, também contribui no acionamento direto das rodas, em paralelo com o motor elétrico;

e) VE híbrido *plug-in* (VEHPin): é um VEH com maior capacidade de baterias a bordo que podem ser recarregadas a partir da rede elétrica, possibilitando que parte do trajeto diário (entre 25 e 50 km) possa ser feito no modo exclusivo elétrico (com o MCI desligado);

f) VE de célula de combustível (VECC): VE cuja energia elétrica é gerada a bordo por meio de processo eletroquímico em que a energia de um combustível (e.g. hidrogênio) é transformada diretamente em eletricidade. A utilização dessa classe de veículos automotores, como meio de transporte em âmbito global, vem ganhando notoriedade motivada por aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

A título de exemplo no Brasil, a fabricante nacional Gurgel lançou em 1974 o Gurgel Itaipu (Figura 2.69), um VEB para o transporte de duas pessoas.



Figura 2.69 - Gurgel Itaipu (GURGEL800, 2007)

Em função da vasta quantidade na contextualização de veículos elétricos e híbridos, e do que é realmente comercializado, este estudo adota a classificação de acordo com: veículos protótipos, veículos conceitos (*i.e. concept cars*) e veículos industrializados (Figura 2.70).

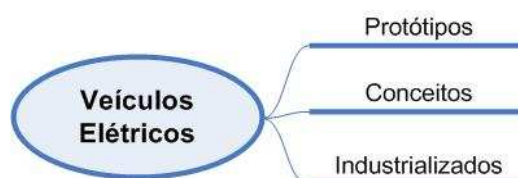


Figura 2.70 - Classificação dos veículos elétricos por objetivo: protótipos, conceitos e industrializados



Os veículos protótipos são aqueles confeccionados com o intuito de comprovar e validar os experimentos laboratoriais de cada grupo de componentes e projeto. Já os veículos conceitos são aqueles manufaturados para comprovar a inovação em materiais, *design* interno e externo, aerodinâmica, motorização, grupo moto propulsor, telemática e eletrônica embarcada, dentre outros, e são utilizados como referências nos últimos aspectos que cada grupo de projeto automotivo busca. Geralmente, são utilizados em feiras e salões automotivos internacionais para comprovar as últimas ações inovadoras de cada fabricante. Ambos não são veículos comercializados.

Os veículos industrializados são aqueles que a indústria fabrica e comercializa e, obviamente, são homologados pelas leis e departamentos de trânsito.

Quando se trata do emprego dos veículos elétricos, estes seguem duas classificações básicas: tripulados e não tripulados (Figura 2.71), e seguem de acordo com a utilização, seja no transporte de carga (bens, mercadorias ou resíduos) ou pessoas (eventos esportivos, transporte público, transporte de pessoas portadoras de deficiência física/motora, veículos de passeio, entre outros).

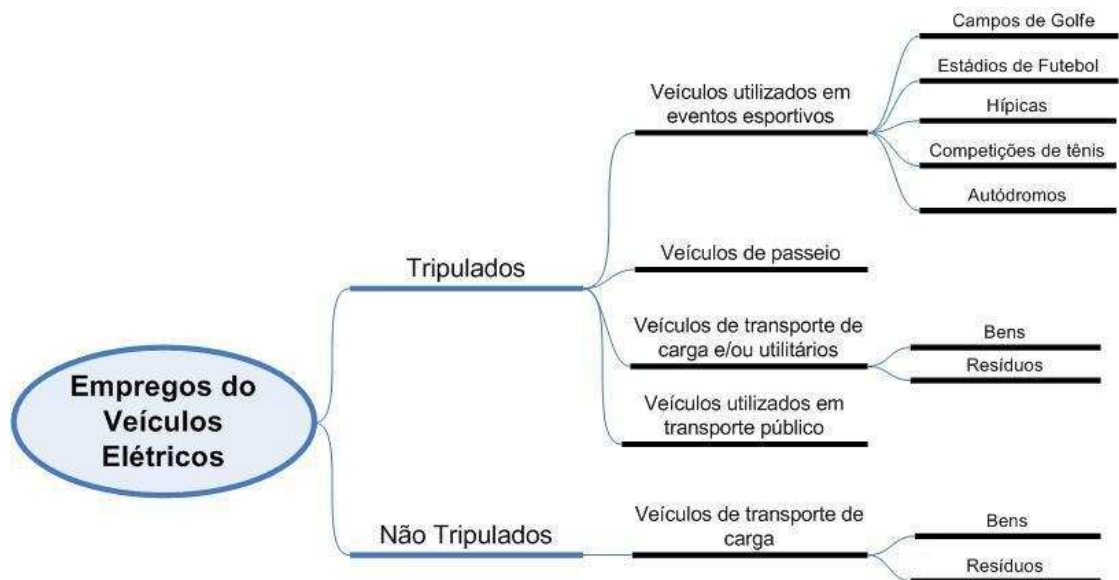


Figura 2.71 - Tipos de emprego de veículos elétricos

Uma classificação sobre os parâmetros básicos tecnológicos de um veículo elétrico é apresentada na Figura 2.72. Inclui a definição do local de utilização (e.g. via urbana, via rural, via semi-urbana) e as considerações frente aos aspectos de

riscos tóxicos, ambientais e humanos que as baterias podem causar, além, é claro, da questão da produção, transporte e armazenagem da energia elétrica necessária.

Estes aspectos são subdivididos em pirotecnia (*i.e.* risco explosivo), manutenibilidade/desmontagem (*i.e.* acesso à função), estanqueidade (*i.e.* vedação/proteção contra vazamentos); aquecimento (*i.e.* controle de refrigeração), material de composição (*i.e.* primário/secundário e custos valor do mineral), e a legislação internacional para transporte.

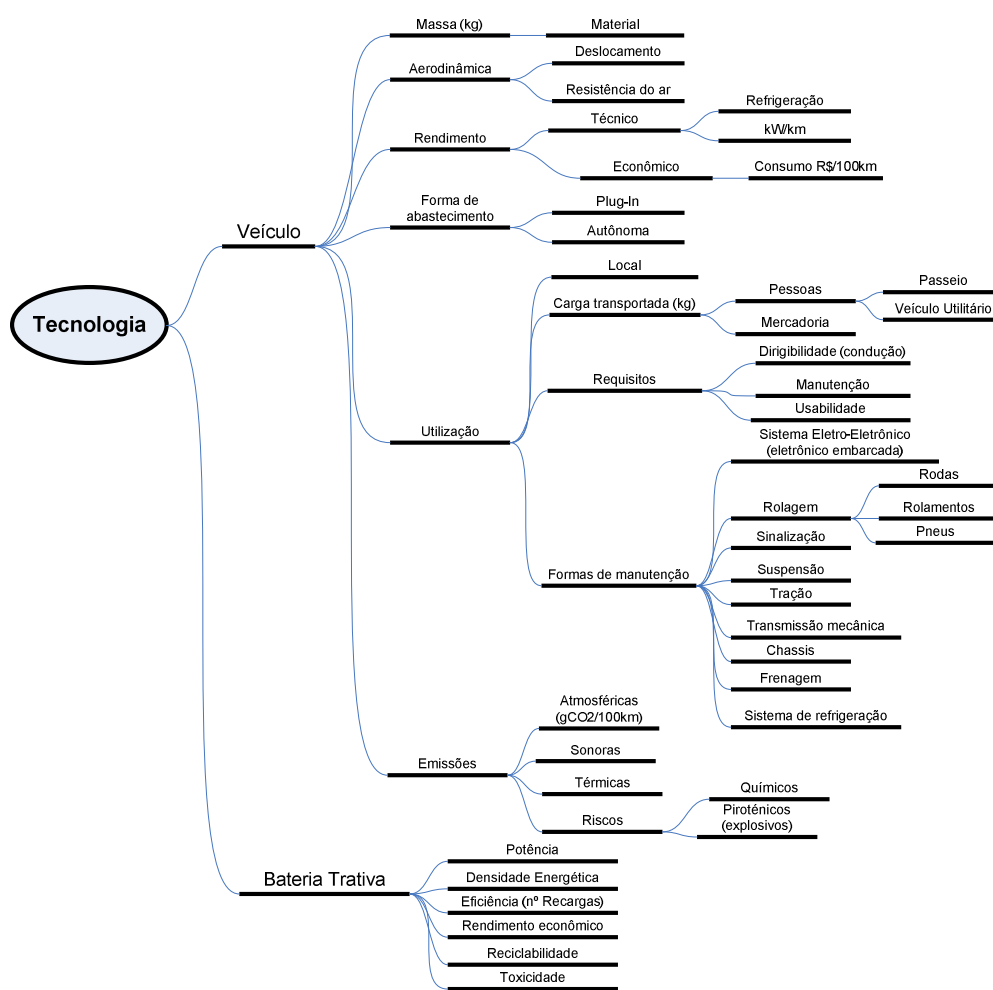


Figura 2.72 - Classificação dos parâmetros básicos tecnológicos de um veículo elétrico

### 2.8.3 Veículos Híbridos (VEH): transição para a adoção massiva dos veículos elétricos

Diante do cenário apresentado na seção 2.2, em que a indústria da mobilidade é uma forte contribuinte nas emissões de gases efeito-estufa e outros impactos

ambientais significativos, alguns construtores automotivos industrializam veículos híbridos desde o final da década de 1990, cuja tecnologia permite a utilização de um sistema com motor de combustão interna agregado à transmissão elétrica, com uma bateria de tração de grande porte (variando de 30 a 70 kg).

Tais veículos, sobretudo de fabricação de marcas de origem japonesa, visam contribuir estrategicamente como transição para a inserção dos veículos elétricos, como alternativa na redução de impactos ambientais, principalmente focados na fase de utilização (emissões atmosféricas).

O modo mais comum de produção de energia por estes motores é constituído de um bloco (módulo) repleto de acumuladores (células) que devem fornecer uma potência suficiente para promover a propulsão do veículo (LAZZARI, 2006).

A ideia de associar, a bordo de um mesmo automóvel, um motor elétrico e um motor térmico constitui uma solução interessante, que permite conservar o nível de desempenho do automóvel, diminuindo sensivelmente as emissões de monóxido de carbono e outras em meio urbano. Várias soluções de hibridização já são propostas e comprovam um caminho a seguir pelas indústrias automotivas ao menos até 2030.

Além disso, a eficiência energética de um veículo elétrico e híbrido é maior que em um veículo de combustão interna. Enquanto pode-se obter em torno de 90% de eficiência em um VEH, para um veículo de combustão, tem-se em torno de 30% (SANTOS, 2009).

O princípio dos veículos híbridos é de combinar um acionamento elétrico-híbrido para promover a tração das rodas, em grande parte ou totalmente, por um ou mais motores elétricos (Figura 2.73). Todavia, a eletricidade em vez de ficar armazenada em pesadas baterias (200 a 300 kg de massa), que devem ser conectadas na tomada para recarregar quando o automóvel está estacionado (como ocorre com os veículos elétricos *plug in*), é produzida quando o acionamento da frenagem do veículo é acionado, por meio de regeneração.

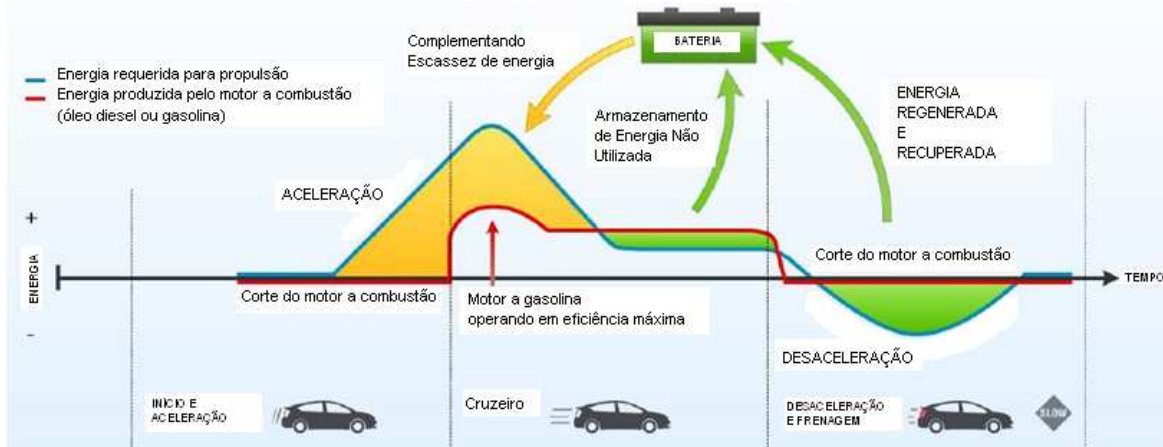


Figura 2.73 - Funcionamento de um veículo híbrido (adaptado de TOYOTA, 2006)

O motor movido à eletricidade, ao acelerar um automóvel, pode também ter a função de gerador que recupera a eletricidade pela desaceleração. A energia recuperada nesse frear regenerativo é reutilizada, e, portanto, é menos desperdiçada como no caso dos freios mecânicos. Esta energia é enviada para acumuladores elétricos (baterias de no máximo setenta quilogramas de massa) e contribui para a tração do veículo em situações de menor exigência motora, tais como em trechos retos e declives. A série Toyota Prius possui três modos de operação: elétrica, combustão interna e combinada. É o modelo híbrido mais bem-sucedido do mundo com milhões de unidades já comercializadas (Figura 2.74).



Figura 2.74 - Exemplo de um veículo híbrido comercializado mundialmente: Toyota Prius II (SHARP, 2009)

Para Ulrich (2007) e Sadowska, Hollins e Wellington (2008a, 2008b), os veículos híbridos são considerados como uma boa transição para a adoção de veículos elétricos e os movidos à pilha de combustível (hidrogênio). Ao mesmo tempo em que têm a seu favor uma energia muito pouco impactante em termos de emissões de dióxidos de carbono, e que permitem percorrer longas distâncias, as tecnologias existentes para prover a energia necessária ainda não são suficientes.

#### 2.8.4 Veículos elétricos tripulados para transportes de mercadorias e resíduos

Devido aos incentivos de vários países para redução nas emissões de CO<sub>2</sub> por veículos automotivos, vários fabricantes de VEB tripulados estão surgindo no mundo. Seja para o transporte de pessoas (como eram os bondes utilizados no início do século XX no Brasil) quanto para o transporte de cargas (*i.e.* mercadorias, resíduos, entre outros).

Como o foco deste trabalho não está relacionado ao transporte de pessoas, são abordados apenas os VEB tripulados para o transporte de cargas já industrializados. Um bom exemplo é proveniente de duas fabricantes francesas: Goupil e Éco-Mobilitéé.

A Goupil é uma pequena empresa com cerca de 20 colaboradores na linha montagem, 07 na área técnica, além do pessoal administrativo e comercial. Atua desde 1996 e fornece VEB para prefeituras, indústrias e parques de entretenimento. A idéia principal é fornecer uma opção em termos de menor volume, com um veículo que possa acessar vários locais em que caminhões não entram ou são proibidos circular.

O principal produto é um VEB tripulado de duas pessoas (motorista e passageiro), com dimensões aproximadas de 3,0 m (comprimento), 1,7 m (largura) e 1,5 m (altura) e que utiliza baterias de chumbo com até 1500 ciclos de recarga. Tem a capacidade de carregar de 600 a 700 kg e uma autonomia que varia de 50 a 100 quilômetros, de acordo com as cargas transportadas e baterias utilizadas.

Os custos operacionais são menores que um Euro para cada 100 quilômetros percorridos. Além do menor volume, a particularidade é a adoção de várias combinações com o mesmo chassi, o que permite a prática da modularidade de acordo com a função desejada (Figura 2.75).



Figura 2.75 - VEB tripulados para transporte de cargas: modularidade de containeres e funções apoiados sobre o chassi (GOUPIL, 2010)

Já a Éco-Mobilitéé, uma pequena empresa de origem mais recente, fabrica uma ampla linha de produtos que associam a tração elétrica: desde VEB tripulados de passageiros, bicicletas elétricas e VEB tripulados para transporte de cargas. Nestes últimos, a empresa possui uma linha com características semelhantes às do VEB tripulado da Goupil, em que pode-se evidenciar a importância também dada à modularidade (Figura 2.76).

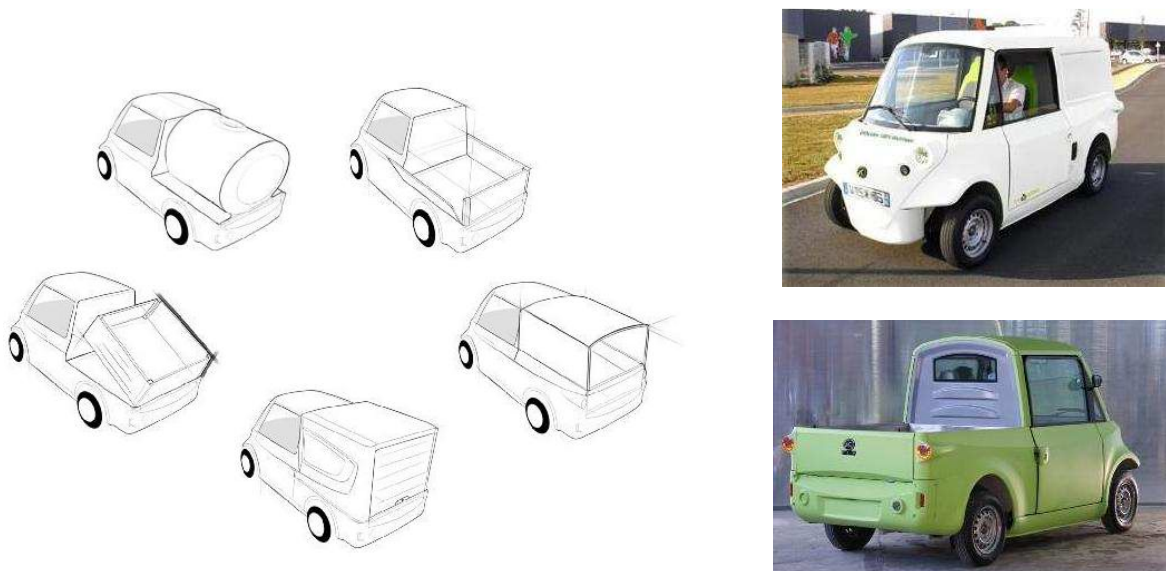


Figura 2.76 - VEB tripulados para transporte de cargas: modularidade de containeres e funções apoiados sobre o chassi (ÉCO-MOBILITÉ, 2010)





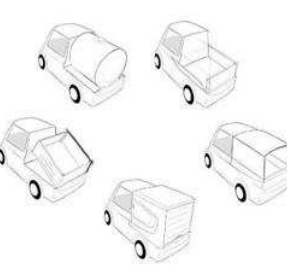




A diferença é que a Éco-Mobilité adota os aspectos de ecodesign na fase de desenvolvimento de produto, a qual se traduz na utilização de materiais termoplásticos reciclados nos grupos de carenagem do veículo.

Já no Brasil, as três fabricantes que industrializam VEB tripulados estão localizadas nos estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. No entanto, nenhuma das três industrializa veículos especificamente para a coleta de resíduos.

O cenário que se encontra é a produção para a área a predominante esportiva. Nesta área, a única fabricante que apresenta a opção modular para coleta de resíduos nos eventos é a fabricante paulista Jacto (JACTO, 2010). Alguns exemplos de VEB tripulados, utilizados para o transporte de cargas, foram classificados em uma matriz de *benchmarking* (Tabela 2.15).



Tabela 2.15 - Veículos motorizados tripulados tipo VEB, utilizados no Brasil e no mundo, para transporte de resíduos em diversos locais e diferentes terrenos

<p>Protótipo Virtual / Rendering / Sketches / Imagem real</p>			
<p>Perfil / Vistas em diedro / Modularidade</p>			
<p>Aplicação</p>			
<p>Proveniência</p>	<p>França</p>	<p>França</p>	<p>Brasil (São Paulo)</p>
<p>Autoria / Projetista</p>	<p>Goupil Industrie (<a href="http://www.goupil-industrie.eu">http://www.goupil-industrie.eu</a>)</p>	<p>Éco-Mobilité (<a href="http://www.eco-mobilite.com">http://www.eco-mobilite.com</a>)</p>	<p>Jacto (<a href="http://www.jacto.com.br">http://www.jacto.com.br</a>)</p>
<p>Ano de comercialização</p>	<p>2009</p>		<p>2008</p>
<p>Preço estimado de comercialização</p>	<p>20.000 Euros</p>		<p>25.000 Reais</p>
<p>Forma de Tração</p>	<p>Powertrain elétrico (<i>electric-powered drive</i>)</p>		
<p>Forma de abastecimento</p>	<p>Plug-In</p>		
<p>Capacidade (kg)</p>	<p>600 a 700</p>		<p>1000</p>
<p>Tripulantes</p>	<p>02 (01 motorista + 01 passageiro)</p>		
<p>Baterias</p>	<p>Chumbo Ácido (1500 ciclos de recarga)</p>		
<p>Rotas máximas por carga de bateria</p>	<p>50 a 100 km</p>		<p>Não informado</p>
<p>Custo por distância</p>	<p>menor que 1 Euro a cada 100km percorrido</p>		<p>Não informado</p>
<p>Finalidade</p>	<p>Transporte de mercadorias, resíduos e equipamentos de limpeza pública</p>		<p>Transporte de resíduos e utilizado em eventos esportivos de golfe</p>
<p>Modularidade</p>	<p>SIM</p>		<p>SIM. Porém não informado claramente a praticidade das aplicações das formas.</p>



### 2.8.5 Veículos elétricos não tripulados de carga movidos a puxão

Um VEB não tripulado de carga movido a puxão, é aquele que necessita de acionamento manual do usuário por uma manopla ou botões apoiados em um cambão (*i.e.* barra que liga o chassi ao comando do veículo). O usuário caminha na frente do veículo puxando o cambão (Figura 2.77).

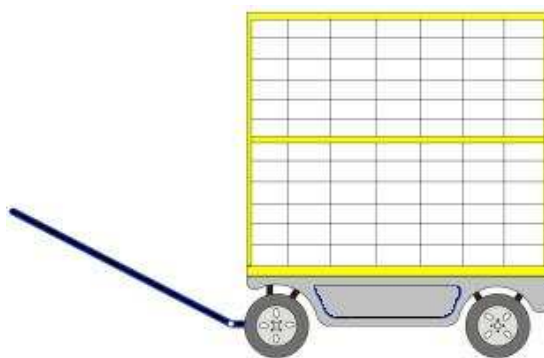


Figura 2.77 - Esquema gráfico de utilização de um veículo elétrico não tripulado de carga movido a puxão (BLEST, 2008)

Assim como para os VEB tripulados, os principais fabricantes brasileiros de VEB não tripulados de carga movidos a puxão, estão localizados nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo.

Basicamente, os VEB fabricados por estas empresas são utilizados no transporte de cargas em centros urbanos, como meios alternativos de logística para indústrias de alimentos, bebidas e empresas de entregas de documentação em papel e correspondências (*e.g.* Correios).

A facilidade do uso do veículo é a inserção deste em ruas onde não é permitido o tráfego de veículos de maior capacidade, além da baixa velocidade de operação (cerca de no máximo 8 km/h).

Em geral, estes veículos possuem capacidades semelhantes para cargas, ou seja, são capazes de transportar até 1.000 kg. Os chassis são compostos de estruturas metálicas em aço e carenagem em fibra de vidro. O sistema de tração conta com transmissões por engrenagens e correntes, além de quatro rodas e pneus infláveis automotivos aros 13 polegadas. Utilizam suspensão por feixe de molas e o acionamento se dá por meio de um cambão com controle ou por manopla rotativa (*e.g.* manopla de motos) ou por botoeiras. A frenagem se dá por controle auto-

travante a partir do desacionamento do cambão (*i.e.* haste de comando), que possui um retorno por pequenas molas helicoidais.

Possuem dimensões aproximadas de 2,10 m (comprimento) por 1,05 m (altura) por 0,65 m (largura), com massa própria de 400 kg (sem carga). Utilizam baterias de chumbo-ácido, de fabricação nacional, com tensão de 48 Volts e corrente de 150 Ampères. A autonomia é em torno de 25 quilômetros por carga de bateria. Cada recarga dura em torno de oito horas. As controladoras (de 48 Volts) e os carregadores de baterias (110/220 Volts) são de projeto e fabricação nacional. Os motores fornecem uma potência de até 4,5 HP e a velocidade máxima de operação é de 8 km/h. Para o *plug-in* de recarga se utiliza a chave IP44. Durante a fase de uso, não emitem dióxidos de carbono (CO<sub>2</sub>) e emitem baixas emissões sonoras. São de fácil operação e preços mínimos de venda em torno de cinco mil reais (R\$ 5.000,00).

A sinalização utiliza giroscópios, sinais de conversão e refletores homologados e enquadrados dentro das exigências do CONTRAN, além de buzina.

A legislação vigente para homologação deste tipo de veículo permite seu uso em calçadas e ruas. Em Curitiba, a regulamentação é feita pela URBS (Companhia de Urbanização do Município). Porém, nos VEB fotografados não se evidenciou registro em todos. O parque instalado dos VEB não tripulados de carga no Brasil ainda é desconhecido. Com utilização em seis dias sobre sete semanais, estima-se que a duração de cada bateria seja em torno de seis meses à um ano. A partir disso, elas são comercializadas a base de troca na compra por novas, o que incentiva o reciclo (aberto ou fechado) dos componentes em cada uma presente, e atende a CONAMA nº. 401 de 2008.

Também há VEB com capacidades de transporte de cargas menores (*i.e.* de 300 a 500 quilogramas), utilizados no transporte de resíduos sólidos recicláveis em condomínios e o modelo base utilizado neste estudo e detalhado no Capítulo 4. No entanto, estes modelos utilizam rodas e pneus infláveis (com câmaras) menores (de oito polegadas) e não possuem suspensão. A tração se dá nas rodas traseiras. As dimensões são em torno de 1,90 m (comprimento) por 0,90 m (altura) por 0,50 m (largura). A massa própria é em torno de 500 kg e a capacidade de carga é variável de 300 até 500 kg. A estrutura do chassi é em aço, a carenagem é de chapas

“Ecotop” (*i.e.* laminados industrializados de tubos de bisnagas de pastas de dentes pré-consumo) de 10 milímetros de espessura.

Também utilizam baterias de chumbo-ácido, de fabricação nacional, com tensão de 24 Volts e corrente de 150 Ampères. A autonomia é em torno de 25 quilômetros por carga de bateria. Cada recarga dura em torno de oito horas. As controladoras (de 24 Volts) e os carregadores de baterias (110/220 Volts) são de projeto e fabricação nacional. Os motores fornecem uma potência próxima de 2 HP e a velocidade de operação varia de 6 a 8 km/h. O *plug-in* de recarga utiliza a chave IP44. São de fácil operação e custos em torno de quatro mil reais (R\$ 4.000,00).

Na sinalização, aplicam modelos utilizados em bicicletas (*e.g. back lights*) ou sinalizadores com *leds*, porém sem proteção para evitar quebras e danificações. Também utilizam refletores homologados e enquadrados dentro das exigências do CONTRAN.

Exemplos de cinco veículos elétricos, além do veículo com motor à combustão interna descrito no início desta seção, todos movidos a puxão, foram classificados em uma matriz de *benchmarking* (Tabela 2.16).

Tabela 2.16 - Veículos motorizados tipo VEB movidos a puxão, não tripulados no Brasil para transporte de bens e resíduos em centros urbanos

Protótipo Virtual / Rendering / Sketches / Imagem real						
Perfil / Vistas em diedro						
Aplicação						
Proveniência	Estado de Minas Gerais (MG)	Estado do Paraná (PR)	Estado do Rio Grande do Sul (RS)	Estado de São Paulo (SP)		
Autoria / Projetista	Tecscan Recibel ( <a href="http://www.tecscan.com.br">http://www.tecscan.com.br</a> )	Blest do Brasil ( <a href="http://www.blest.com.br">http://www.blest.com.br</a> )	Freedom ( <a href="http://www.freedom.com.br">http://www.freedom.com.br</a> )	Jacto ( <a href="http://www.jacto.com.br">http://www.jacto.com.br</a> )		
Ano de comercialização	2008	2007	2007			
Nome comercial	Coletortec	VE CONDO	VE 1000	Não informado		Não informado
Forma de Tração	Motor à combustão interna (4 tempos)	Powertrain elétrico (electric-powered drive)				
Forma de abastecimento	Mangueira e conector de bombas de postos de combustíveis	Plug-In				
Capacidade (kg)	500kg	500kg	1000kg			
Baterias		Chumbo-Ácido				
Material	Não informado	Perfis em aço SAE 1020, Eixos e freios de aço SAE 1045, Chapas de Ecotop, 02 Baterias de Pb-Ácido, Motor elétrico 750W, 04 Pneus, 04 câmaras	Não informado			
Rotas máximas por carga de bateria ou combustível	Não informado	20 km				
Custo por distância	Transporte de resíduos sólidos urbanos recicláveis					
Finalidade	Transporte de resíduos e utilizado em eventos esportivos de golfe		Transporte de mercadorias, resíduos			Não informado
Modularidade	SIM. Porém variável de acordo com a capacidade de carga.					

### 2.8.6 Principais tecnologias de acumuladores em VEs

Os automóveis híbridos e elétricos (ou HEV, *Hybrid and Electric Vehicle*) utilizam acumuladores de alta tensão, como é o caso dos acumuladores industriais. Assim, variáveis como massa, dimensional, tensão e materiais aplicados são determinantes para o projeto das baterias tratativas destes automóveis.

Diante dos cenários para a reciclabilidade (*i.e.* a capacidade de reciclagem de um determinado material), o grande desafio das baterias utilizadas em veículos elétricos e híbridos é a tecnologia utilizada, a qual varia em função do tipo de material aplicado (*e.g.* chumbo ácido (Pb-Ácido), chumbo-gel (Pb-Gel), níquel-cádmio (NiCd), níquel-metal-hidruro (NiMH), lítio-íon (Li-Ion), lítio-polimérico (Li-Pol), sódio-níquel-cloro (NaNiCl), entre outras).

Em termos energéticos, estas tecnologias possuem uma relação de número de ciclos por capacidade energética. Isto se traduz na capacidade de uma determinada tecnologia ser recarregada em um determinado número de vezes sem perder a sua eficiência energética.

Para comparar as diferentes tecnologias de acumuladores, no nível de seus desempenhos, um modelo “*Ragone*”, ilustrado na Figura 2.78 mostra a relação da energia específica com a potência específica (representada em escala logarítmica), em que é possível visualizar as diferentes tecnologias aplicadas que são utilizadas nos veículos híbridos e elétricos.

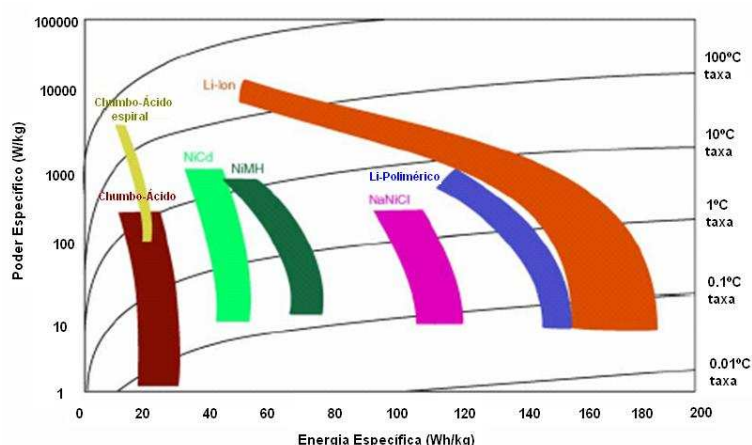


Figura 2.78 - Comparação de energias específicas de diferentes tecnologias de baterias (adaptado de BOSSCHE, 2005 e KARNEY, 2009)

Os lítio-Íons e lítio-poliméricos evidenciam sua alta densidade energética, ou seja, para um mesmo volume, uma alta massa energética, comparada às

tecnologias concorrentes. Assim, nota-se que a tecnologia de lítio íons (em laranja) é a que possui maior densidade energética, ou seja, para um mesmo volume é a que libera a maior energia para um mesmo número de ciclos.

Ainda na análise sobre as variáveis técnicas, a Tabela 2.17 ilustra de forma comparativa as principais vantagens e limitações de quatro grupos de tecnologias de baterias.

Tabela 2.17 - Vantagens e limitações de quatro tecnologias de baterias  
(adaptado de CAILLON, 2005)

Propriedades	Pb	NiCd	NiMH	Li-Ion
Tensão nominal (V)	2.0	1.2	1.2	3.6
Energia mássica	-	+	++	+++
Energia volumétrica	-	+	++	++
Estabilidade da tensão em descarga	-	+++	++	+ / ++
Duração em ciclagem	-	+++	++	+++
Carga rápida	-	+++	++	+
Conservação de carga	++	- / +	- / +	++
Estocagem ao estado de descarga	-	+++ / ++	++ / +	-
Descarga rápida	-	+++	++	+
Baixa temperatura	+	+++	+	+ / ++
Alta temperatura	++	++	+	+
Segurança	++	++	+	-
Robustez mecânica	-	+++	+++	+
Custo	+++	++	+	-

**Legenda:** - : ruim / +: regular / ++: bom / +++: ótimo

Com isso, é possível visualizar que a energia mássica e a duração em ciclagem são as variáveis a favor da tecnologia de lítio-íons com relação às demais. Todavia, vale ressaltar as vantagens da tecnologia NiCd em que as variáveis são muito favoráveis: armazenamento ao estado de descarga (efeito memória), duração de ciclagem, carga rápida e estabilidade da tensão em descarga. Porém, esta tecnologia está limitada ao uso em função dos metais pesados (tóxicos) que contém, fundamentalmente o cádmio, em que na Europa é limitada a sua circulação.

Em 2005, foram retirados de circulação cerca de cinco mil veículos elétricos Renault Kangoo por não atenderem a Diretiva Europeia nº 53 de 2000, a respeito do índice de reciclabilidade e da toxicidade. Apesar de conterem metais pesados, as baterias de chumbo têm o uso permitido, pois a taxa de reciclabilidade é alta (cerca de 90% de recuperação).

Por outro lado, com relação a capacidade de reciclagem em final de vida, algumas tecnologias de baterias possuem processos de reciclagem com limitações.

Estas variam desde a perda de massa durante o processo de reciclagem como também a emissão de dioxinas na atmosfera, por meio das queimas em processos pirometalúrgicos convencionais (LAZZARI, 2006).

As tecnologias de baterias utilizadas nos automóveis como Toyota Prius I, Prius II e Lexus RX400h, bem como nos modelos *Insight* e Civic da Honda, são voltadas para a utilização da composição NiMH (níquel-metal-hidruro), com os acumuladores (*i.e.* sistema da bateria trativa) variando aproximadamente em massa de trinta e cinco quilogramas (Toyota Prius I e II, Honda *Insight* e Civic) à sessenta e nove quilogramas (Toyota Lexus RX400h).

Para os processos de reciclagem, não há tantas particularidades como para o caso dos lítio-íons, que possuem problemas de alta reatividade. Com isso, os processos pirometalúrgicos são bem aplicados a tecnologia NiMH para a reciclagem.

Além disso, para que o sistema da bateria trativa possa ser encaminhado para a reciclagem, é necessária a desmontagem dos módulos e das células, pois caso contrário estes componentes provocam um volume muito grande e não tornam viável as operações nos equipamentos de reciclagem, conforme abordado na seção 2.3.

Algumas variáveis tornam-se oportunas quando relacionadas à tecnologia utilizada. São elas:

- a) Existência de processo para reciclagem;
- b) Mapeamento de riscos envolvidos durante a utilização do veículo (explosão, curto-circuito, descargas/choques elétricos);
- c) Procedimentos para com a gestão do final de vida (desmontagem, armazenamento, mapeamento para destinação, existência de recicladores e tipo de transporte).

Para o estudo da problemática da bateria de tração, também é interessante a consideração sobre os riscos envolvidos durante as fases de utilização e final de vida, além das etapas logísticas, que incluem:

a) Riscos durante a utilização do veículo: tais como explosão, curto-circuito, descargas e choques elétricos, vazamento de substâncias;

b) Riscos do final de vida do veículo: necessidade de desenvolvimento de procedimento para desmontagem da bateria, mapeamento para destinação (centros de triagem e recicladores) e a localização e tipo de transporte (armazenamento) das baterias, que devem seguir legislações internacionais preconizadas pelas Nações Unidas para o transporte deste tipo de material.

Para tanto, torna-se oportuna a necessidade dos projetistas em utilizarem a abordagem sobre os processos de reciclagem das baterias, sobretudo das tecnologias utilizadas. Esta necessidade é aplicável tanto para veículos híbridos quanto elétricos, pois ambos possuem cargas significativas em massa de bateria de tração e podem comprometer todo um projeto, quando se trata do alcance às metas de reciclabilidade e valorização de materiais.

Com este Capítulo foi possível contextualizar a demanda relacionada às exigências ambientais que interferem diretamente no desenvolvimento de automóveis, partindo das diretivas existentes em alguns continentes, das declarações ambientais mundialmente utilizadas e das certificações ambientais já utilizadas.

Com a abordagem do ciclo de vida de produto e da ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) os impactos ambientais das fases do ciclo de vida automotivo podem ser mapeados e mensurados.

A fase de final de vida automotivo é uma das mais críticas, e torna-se decisiva e desafiadora para as equipes de desenvolvimento de produtos, as quais têm a oportunidade para adotar as estratégias, métodos e ferramentas que lhes convém sob o âmbito ambiental.

Com a abordagem e contextualização sobre os veículos comumente utilizados no Brasil para a coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis, é possível identificar os cenários que indicam uma tendência à motorização, além da diversidade social existente. Diante disso, diversos modelos de veículos motorizados, sobretudo elétricos e combinados, tornam-se uma realidade não apenas no Brasil como em países do continente Europeu.

Todavia, apesar da possibilidade dos impactos ambientais existirem em VEs, mesmo com a possibilidade de serem diferentes dos motorizados à combustão, é inerente o desafio de identificá-los, quantificá-los e propor melhorias para reduzi-los.

A partir disso, no Capítulo 3 é sugerido um método de avaliação ambiental, o qual, aplicado ao estudo de caso de um veículo elétrico movido a puxão, almeja contribuir para a melhoria do projeto do veículo existente ou do projeto do novo veículo, dentro dos critérios ambientais.



### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo descreve as etapas e os métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Está estruturado em duas subseções: na primeira, são apresentados os aspectos organizacionais. Na segunda, é descrita a seqüência de atividades, com a apresentação do método e das etapas.

#### 3.1 ASPECTOS ORGANIZACIONAIS

Por meio da utilização da ferramenta *brainstorming* (*i.e.* método intuitivo de geração de idéias), foram listados e identificados os itens relacionados à abrangência deste trabalho.

Depois de listados, os itens foram classificados utilizando a técnica de mapa mental, por meio do software *freemind*®. O Apêndice A contém o mapa organizacional, o qual assessorou o mestrando no controle e gerenciamento do projeto. Com o mapa e a clareza dos itens envolvidos, assim como a organização dos referenciais teóricos e informativos, a busca e o gerenciamento da informação foram facilitados.

Nem todos os itens listados foram realizados, em virtude da disponibilidade de dados, interesse em pesquisar os dados (*i.e.* investimentos em tempo e recursos financeiros) e risco de se perder o foco do trabalho.

#### 3.2 SEQÜÊNCIA DE ATIVIDADES

##### 3.2.1 Revisão da literatura

Em todos os capítulos, referências diversas são utilizadas a fim de justificar a pesquisa científica e tecnológica aplicada. Inclui a pesquisa em periódicos, livros, revistas técnicas, dissertações, teses, monografias, trabalhos de conclusão de curso, vídeos técnicos, visitas técnicas e exame de páginas de consulta livre na Internet.

As atividades que caracterizam o método de avaliação ambiental utilizado pelo mestrando estão apresentadas de forma pontual na Figura 3.1.

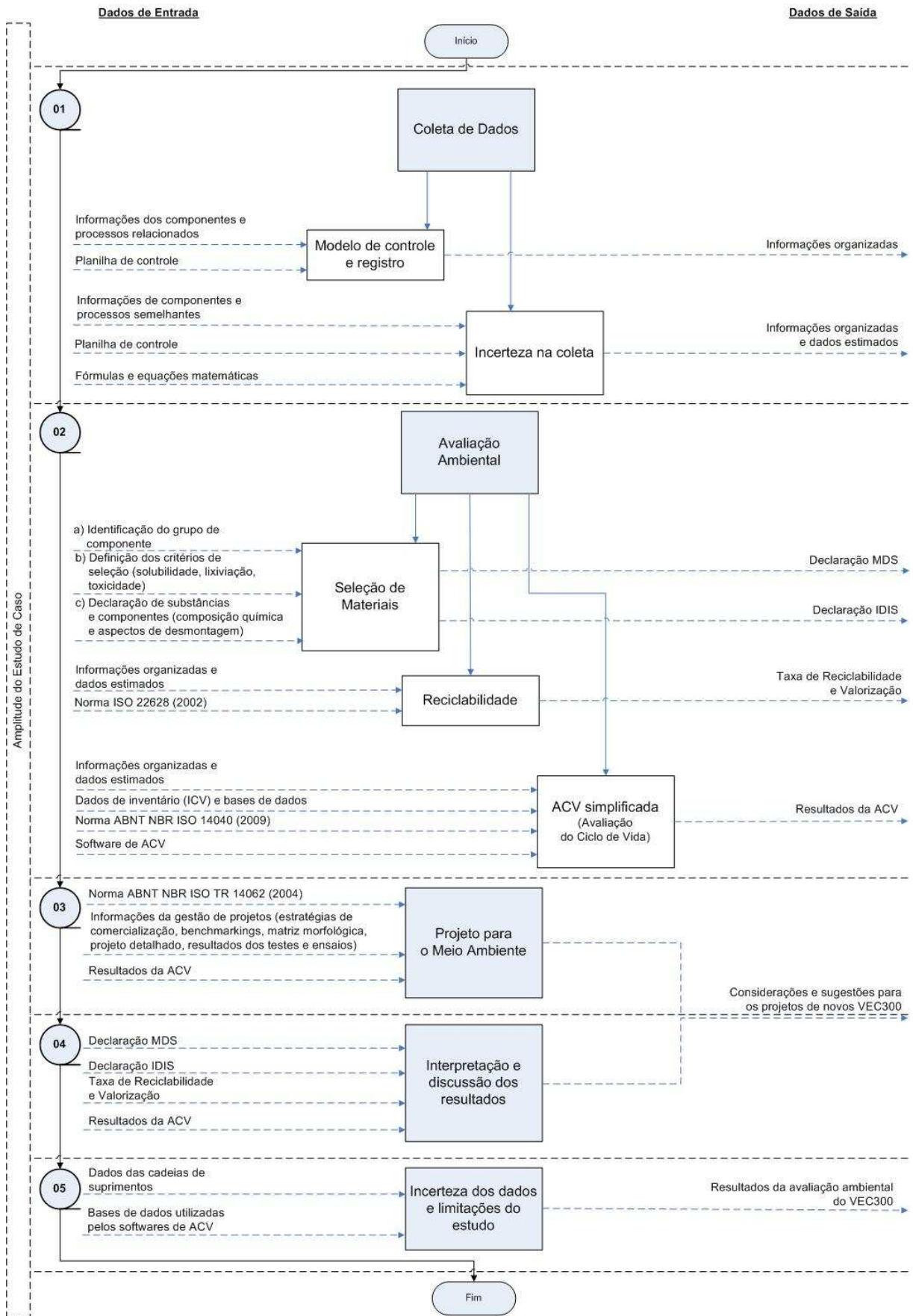


Figura 3.1 - Diagrama de atividades do método de avaliação ambiental

### 3.2.2 Coleta de dados

A etapa de coleta de dados está relacionada aos dados técnicos (*i.e.* dimensionais, massa e volume) do veículo analisado e seus respectivos componentes e processos industriais associados. Os dados do veículo estão descritos no Capítulo 4 e foram detalhados para os sete grupos de componentes.

A partir de informações fornecidas pelo fabricante do veículo, dos fornecedores de componentes (*i.e.* recebidas por correio eletrônico e obtidas em catálogos técnicos) e estimadas quando necessário, a avaliação ambiental torna-se possível de acordo com os parâmetros adotados neste estudo e descritos na seqüência.

#### 3.2.2.1 Modelo de controle e registro

Para que a coleta dos dados veículo tenha êxito, é apresentado um modelo na forma de planilha para preenchimento e classificação das informações (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Exemplo de planilha utilizada para a coleta de dados

Produto	Uso	Montagem	Submontagem 1	Foto	Submontagem 2	Descrição do Componente	Materiais (componentes / composição)	Massa	Dimensões	Processos
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Descrição do nome e modelo do veículo, ano de fabricação, unidade funcional (ACV)	Dados de emissões e/ou consumo de eletricidade e tipo de matriz energética	Veículo montado	Grupo de componente	Imagem do grupo de componente	Nome do componente específico	Local específico onde o componente é aplicado ou forma em que o componente está disponível	Classificação em metais (ferrosos, não ferrosos e pesados), plásticos (PP, PE, ABS) e outros	Por componente (kg)	Por componente (mm)	Extração da matéria-prima, transporte (km), fabricação (tipo do processo) e energia (kWh)

Este modelo contém dados específicos dos grupos de componentes do produto, fotos, dimensões (em milímetros), massa (em quilogramas), material (*e.g.* metal ferroso, metal não ferroso, metal pesado, plásticos e outros), processos relacionados (*e.g.* extração, transporte e manufatura) além dos tempos de acesso à função, quando fornecidos ou medidos.

A partir desta planilha é possível identificar os grupos de componentes do produto que são analisados, a descrição dos tipos de materiais utilizados, as quantidades relacionadas, os dados de massa e os processos envolvidos, essenciais para a declaração de substâncias, medição do índice de reciclabilidade e realização da ACV.

### 3.2.2.2 Incerteza na coleta

Na eventualidade dos dados não terem sido fornecidos ou encontrados, são apresentadas estimativas, na forma de médias aritméticas simples provenientes de históricos diversos ou de outras tecnologias e processos disponíveis. As equações para atender estas estimativas estão descritas na seqüência.

#### 3.2.2.2.1 Processo de transporte

Neste processo, são consideradas as fases de transporte entre os fornecedores de matérias-primas e componentes até a unidade industrial da fabricante do veículo. Para isso, a Equação 01 apresenta os parâmetros necessários para o cálculo transporte.

$$Trp = r_a \times (m_c + m_v) \quad \text{Eq.(01)}$$

Em que:

**Trp** é o transporte (em tonelada-quilômetro);

**R<sub>a</sub>** é a rota aproximada (em km);

**m<sub>c</sub>** corresponde à carga transportada (em kg);

**m<sub>v</sub>** corresponde à massa do veículo utilizado (em kg).

#### 3.2.2.2.2 Processo de produção

Nesta fase do ciclo de vida do veículo, são estimados: a quantidade de material depositado nos processos de proteção de superfície e de soldagem, e no consumo de energia elétrica na etapa de manufatura.

Alguns componentes também tiveram as massas estimadas, devido à ausência de informações. Neste caso, foram utilizados componentes semelhantes existentes no mercado.

A área depositada na proteção de superfícies é estimada pela Equação 02, a partir dos dados de dimensionais dos componentes e dos materiais utilizados.

$$A_{ts} = A_c + A_{ma} + A_{sa} \quad \text{Eq.(02)}$$

Em que:

**A<sub>ts</sub>** é a área total da superfície de material depositado (em m<sup>2</sup>);

**A<sub>c</sub>** é a área total do chassi (em m<sup>2</sup>);

**A<sub>ma</sub>** é a área total do mecanismo de acionamento (em m<sup>2</sup>);

**A<sub>sa</sub>** é a área total do sistema de armazenamento (em m<sup>2</sup>).

Em função da variedade de equações específicas para cada grupo de componentes, estas são detalhadas nas próprias tabelas de dados do veículo, apresentadas no Capítulo 4.

Para os processos de soldagem, a quantidade de material depositado é variada em função do número de pontos e cordões de solda, indicados por meio da Equação 03.

$$Q_{sol} = (C_{pt} \times N_{pt}) + (C_{cs} \times N_{cs}) \quad \text{Eq.(03)}$$

Em que:

$Q_{sol}$  é a quantidade de soldagem (em m);

$C_{pt}$  é o comprimento de cada ponteamto (em m);

$N_{pt}$  é o número de pontos (adimensional);

$C_{cs}$  é o comprimento de cada cordão de solda (em m);

$N_{cs}$  é o número de cordões de solda (adimensional).

Para calcular o consumo de eletricidade nas etapas de fabricação da fase de produção, é utilizada a Equação 04, com base nos dados de potência dos equipamentos e tempo de utilização.

$$C_{ef} = P_t \times t_u \quad \text{Eq.(04)}$$

Em que:

$C_{ef}$  é o consumo de eletricidade nas etapas de fabricação (em kWh);

$P_t$  é a potência de cada equipamento (em W);

$t_u$  é o tempo de utilização dos equipamentos (em horas).

### 3.2.2.2.3 Processo de utilização

Nesta fase, por se tratar de um veículo elétrico e não serem geradas emissões atmosféricas, o parâmetro estimado é o consumo de eletricidade, calculado pela Equação 05.

$$C_e = C_c \times t_r \quad \text{Eq.(05)}$$

Em que:

$C_e$  é o consumo de eletricidade no uso (kW/dia);

$C_c$  é o consumo do carregador de baterias do VEC300 (em kWh);

$t_r$  é o tempo de recarga para um dia (em horas).

A veracidade da coleta de dados, assim como a quantidade de informações coletadas são de fundamental importância para que o estudo possa contribuir para uma maior eficácia no desenvolvimento de um veículo elétrico com baixos ou inexistentes aspectos ambientais.

Com estes dados e estimativas associadas, torna-se possível a compilação e o lançamento das informações no software de ACV.

### 3.2.3 Avaliação ambiental

Este estudo segue os três principais parâmetros utilizados pela indústria automobilística internacional, quando da realização de processos de melhoria em projeto de automóveis, objetivando a minimização de impactos ambientais.

Os três parâmetros envolvem: *i)* a seleção de materiais; *ii)* a medição do índice de reciclabilidade; e *iii)* a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Diagrama de inter-relacionamento dos três parâmetros essenciais para avaliação ambiental

### 3.2.3.1 Seleção de materiais

A seleção de materiais é a etapa que fornece à equipe de projeto a oportunidade para traçar, a partir de resultados de uma ACV ou de outros resultados de toxicidade e impactos ambientais e sociais, a opção por materiais menos impactantes.

A primeira etapa na seleção de materiais consiste na identificação e classificação de cada grupo de componentes, seguida pela definição dos critérios para seleção e da declaração de substâncias e componentes (Figura 3.3).

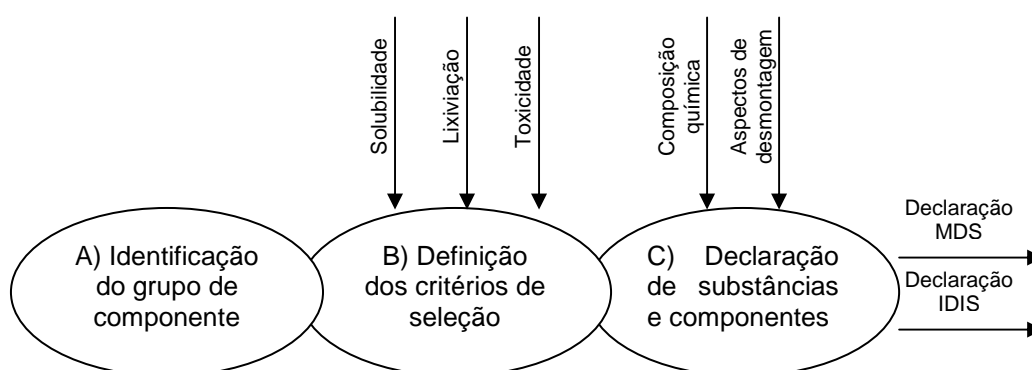


Figura 3.3 - Etapas da seleção de materiais

A partir da declaração de todas as substâncias existentes nos componentes, incluindo as nocivas e tóxicas, são utilizadas plataformas eletrônicas internacionais, como o IDIS (2009) e o IMDS (2009), as quais permitem o compartilhamento de informações. Em alguns casos, isso favorece a utilização de uma mesma base de dados por diferentes fabricantes. Porém, estes atuam em conjunto no desenvolvimento.

No caso do VEC300, a seleção de materiais é baseada na declaração de substâncias, a qual inclui a menção de todas as substâncias existentes nos componentes de um veículo, incluindo as nocivas e tóxicas. Para isso, é apresentada a estrutura de classificação de dados fornecida pela MDS (*Material Data System*), com o objetivo de ilustrar e incentivar a forma de classificação por grupo de material presente em cada componente.

O IMDS (*International Material Data System*) dispõe de um manual (*i.e. guideline*) o qual propõe uma estrutura de lançamento de dados de MDS (*Material Data System*) conforme apresentado na Figura 3.4.

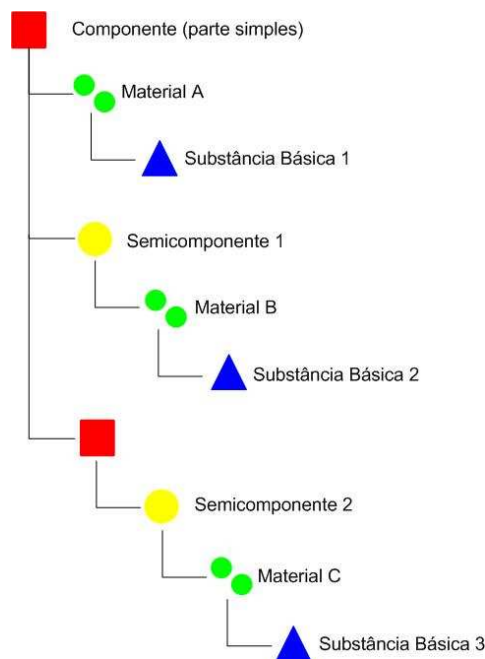


Figura 3.4 - Estrutura básica de um MDS (adaptado de IMDS, 2009)

Para os casos de desmontagem e seguimento sobretudo às diretivas europeias para Veículos em Final de Vida (VfV) é utilizada a plataforma IDIS (2009), detalhada na seção 2.2.

### 3.2.3.2 Reciclabilidade

A medição da reciclabilidade de um veículo é realizada pelo cálculo de uma taxa percentual, conforme preconizações da norma ISO 22628 (2002).

Para o cálculo dessa taxa (Equação 06), esta norma estabelece que devem ser considerados os fatores como a facilidade de desmontagem (medido pelo índice de acesso à função), a identificação dos materiais plásticos (em função das massas dos componentes), e a utilização de materiais incompatíveis (*i.e.* aqueles que não atendem compatibilidade química e física na matriz micro-estrutural).

$$R_{cyc} = [(M_{pt} + M_d + M_m + M_{tr}) / M_v] * 100 \quad \text{Eq.(06)}$$

Em que:

$R_{cyc}$  é a taxa de reciclabilidade (em percentual);

$M_{pt}$  é a massa proveniente da fase de pré-tratamento do veículo com a retirada dos componentes com metais pesados e materiais com índice de toxicidade identificados (*e.g.* fluídos, bateria, pirotécnicos (*air-bags*), tanques de combustível, pneus e catalisadores);



$M_d$  é a massa proveniente da fase de desmontagem dos componentes do veículo que são destinados para reutilização e/ou remanufatura (e.g. peças de materiais plásticos, vidros, tecidos, espumas, entre outros);

$M_m$  é a massa proveniente da separação de metais ferrosos e não-ferrosos;

$M_{tr}$  é a massa proveniente da separação dos resíduos não-metálicos para recuperação energética; e

$M_v$  é a massa total do veículo.

Além da identificação dos tipos de materiais presentes nos componentes, cada componente (ou tipo de material) deve ser enquadrado em uma das quatro fases: a) pré-tratamento; b) desmontagem; c) separação dos metais; d) tratamento de resíduos não metálicos (Figura 3.5).

Conforme foi abordado no Capítulo 2, é recomendado que os materiais nocivos e tóxicos sejam retirados na fase de pré-tratamento (e.g. óleos, combustíveis, catalisadores, baterias, pneus, entre outros). Materiais plásticos, tecidos e vidros devem ser retirados na fase de desmontagem. Os metais ferrosos e não ferrosos, são retirados na fase de trituração metálica. Os materiais restantes são destinados a co-processamento e valorização.

CÁLCULO DAS TAXAS DE RECICLABILIDADE E VALORIZAÇÃO						
Marca		Massa Total do Veículo ( $m_{LV}$ )				
Modelo		$m_v =$ <span style="background-color: yellow;">          </span>				
Separação dos Materiais	Massa (kg)					
	Metais	Polímeros	Elastômeros	Vidros	Fluidos	MONM
						Márcio Lazzari Curitiba, janeiro 2010, Brasil
<small>*MONM: Matéria Orgânica Natural Modificada</small>						

		Massa (kg)	
<b>1</b> Pré-tratamento ( $m_{PT}$ )	Fluidos (óleos lubrificantes)	( $m_{PT1}$ )	
	Baterias	( $m_{PT2}$ )	
	Filtros de óleo	( $m_{PT3}$ )	
	Reservatório GPL	( $m_{PT4}$ )	
	Reservatório Combustível Líq	( $m_{PT5}$ )	
	Pneumáticos	( $m_{PT6}$ )	
	Catalisadores	( $m_{PT7}$ )	
	Outros	( $m_{PT8}$ )	
	$m_{PT}$ total (soma $m_{PT1}$ à $m_{PT8}$ )		

		Massa (kg)	
<b>2</b> Desmontagem ( $m_D$ )	Componente	Nome	Massa (kg)
	1	Termoplásticos	
	2	Vidros	
	3	Elastômeros	
	4	Outros	
5			
6			
7			
$m_D$ total (soma $m_{D1}$ à $m_{D7}$ )			0000,00

		Massa (kg)	
<b>3</b> Separação dos Metais ( $m_M$ )	Conteúdo metálico		
	Ferrosos	( $m_{M1}$ )	
	Não Ferrosos	( $m_{M2}$ )	
	*Sem motor	( $m_{MMotor}$ )	
	$m_M$ total (soma $m_M$ )		( $m_M$ )

<b>4</b> Tratamento dos Resíduos Não Metálicos ( $m_{TR}$ ) e ( $m_{TE}$ )	Materiais Recicláveis ( $m_{TR}$ )			Materiais Valorizáveis Energeticamente ( $m_{TE}$ )		
	Tecnologia	Nome	Massa (kg)	Tecnologia	Nome	Massa (kg)
	1		0	1		0
	2		0	2		0
	3		0	3		0
$m_{TR}$ total (soma $m_{TR1}$ à $m_{TR3}$ )			$m_{TE}$ total (soma $m_{TE1}$ à $m_{TE3}$ )			
			0000,00			
			0000,00			

Taxa de Reciclabilidade	
$R_{CYC} = [(m_P + m_D + m_M + m_{TR}) / (m_{LV})]$	
$R_{CYC} =$	
$\%R_{CYC} =$	

Taxa de Valorização	
$R_{COV} = [(m_P + m_D + m_M + m_{TR} + m_{TE}) / (m_{LV})]$	
$R_{COV} =$	
$\%R_{COV} =$	

\*Quantidade restante de materiais orgânicos (polímeros, elastômeros, MONM, entre outros)

Figura 3.5 - Exemplo de planilha para inserção de dados e cálculo da taxa de reciclabilidade em conformidade com a ISO 22628 (2002)

O objetivo é verificar e identificar as facilidades de desmontagem (e.g. tempo de acesso à função) e separação dos diferentes materiais presentes nos componentes.

### 3.2.3.3 ACV (Avaliação do Ciclo de Vida)

É aplicada por meio de uma ferramenta do Sistema de Gestão Ambiental regulamentada pela família de normas ISO 14040 e a partir de base de dados internacionais (e.g. *Ecoinvent* da Suíça, *Idemat*, entre outros) e de *softwares* específicos (e.g. *SimaPro*, *Gabi*, entre outros).

A partir dos indicadores (i.e. quantidade de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, entre outros) enquadrados em diferentes categorias (i.e. mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, escassez de recursos, entre outros), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é realizada de forma simplificada utilizando a família de normas da ABNT NBR ISO 14040, cujo objetivo é mensurar quantitativamente os principais impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida do VEC300, respeitando-se os limites do sistema definido.

Para o caso da aplicação da ACV no VEC300, objetiva-se encontrar resultados que possam ser disponibilizados ao fabricante quando da concepção de um eventual reprojeto deste veículo ou que resultem em sugestões e considerações a serem realizadas na concepção de um novo veículo com menores impactos ambientais que o atual.

Com isso, os resultados de uma ACV podem ser incorporados no projeto e desenvolvimento, indicando as fases do ciclo de vida mais críticas e os materiais e processos que podem ser trocados ou procuradas outras alternativas. A Figura 3.6 apresenta a lista das etapas do estudo de ACV, derivada do mapa mental apresentado no Apêndice A.



Figura 3.6 - Etapas do estudo da ACV ambiental simplificada

### 3.2.3.3.1 Objetivo e escopo

Nesta etapa, são definidos: a função do sistema do produto, com as respectivas entradas e saídas; a unidade funcional (apresentada por meio da Equação 07); o fluxo de referência e as fronteiras do sistema a partir do sistema de produto.

$$U_f = N_v \times m_t \times d_p \times f_q \quad \text{Eq.(07)}$$

Em que:

$U_f$  é a unidade funcional (em toneladas quilômetro);

$N_v$  é o número de viagens por dia;

$m_t$  corresponde à massa transportada (em toneladas);

$d_p$  é a distância percorrida (em quilômetros);

$f_q$  é a frequência (em dias/ano).

As suposições, limitações e requisitos da qualidade de dados (e.g. critério de corte, escopo geográfico, incerteza da informação, tecnologias cobertas, limitações tecnológicas e outras considerações) complementam a etapa.

#### 3.2.3.3.2 ICV

Na etapa de Inventário do Ciclo de Vida (ICV) são mensurados os dados do veículo, a partir da coleta e estimativa. Os processos são associados à bases de dados internacionais como *Ecoinvent* e *Idemat*.

#### 3.2.3.3.3 AICV

Para Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (AICV), é utilizado o software *SimaPro*®, versão 7.1.5 licença PhD da empresa holandesa *Pré-Consultants*, além das bases de dados de inventários internacionais (e.g. *EcoIndicator 99 H v2.05*, *Edip 2003 v 1.0*, *Impact 2002+*, entre outras).

Nesta ferramenta, são lançadas as informações pertinentes aos dados do produto analisado e gerados os gráficos de impactos ambientais, sobre os critérios de contribuição dos processos, caracterização e pontuação única.

### 3.2.4 Projeto para o meio ambiente

Com o objetivo de apresentar sugestões para o fabricante do veículo, quando da concepção de um novo veículo com menor impacto ambiental, a norma ABNT NBR ISO TR 14062 (2004) é utilizada como referência, juntamente com a definição de quais etapas poderiam ser utilizadas.

A partir de seis etapas, baseadas em um modelo genérico de integração de aspectos ambientais no projeto de produto e no processo de desenvolvimento, são apresentadas ações associadas a cada fase de desenvolvimento.

Estas etapas são divididas em: planejamento, projeto conceitual, detalhamento do projeto, ensaio e protótipo, lançamento no mercado e revisão do produto. Para cada uma delas, a norma sugere uma série de ações em vias de incorporar os aspectos ambientais no desenvolvimento de novos produtos ou reprojeto de produtos existentes.

### 3.2.5 Interpretação e discussão dos resultados

Com a aplicação do método de classificação para seleção de materiais e declaração de substâncias (3.2.3.1) em plataformas internacionais de fabricantes automotivos, com os resultados dos indicadores da taxa de reciclabilidade (3.2.3.2) e com os resultados formalizados da ACV Ambiental Simplificada (3.2.3.3) são

analisados os principais impactos ambientais identificados, associados aos limites do sistema (definido no Capítulo 4) e às fases do ciclo de vida do VEC300.

Com a interpretação destes resultados, são apresentados pontos para eventuais modificações futuras em uma nova versão do VEC300, e discutida a viabilidade da aplicação das alternativas de mudanças, principalmente sob os aspectos ambientais.

### **3.2.6 Incerteza dos dados e limitações do estudo**

Os resultados da avaliação apresentada podem possuir algumas limitações, tais como os dados provenientes da cadeia de suprimentos e das bases de dados utilizadas pelos softwares de ACV.

Isto ocorre em virtude dos dados da cadeia de suprimentos, tais como os dados de processos de produção e transporte de alguns componentes, serem de difícil obtenção e, em alguns casos, não poderem ser considerados.

Com isso, é estimulada uma adequação com as bases de dados internacionais, sobretudo européias, pois as bases de dados latino-americanas de inventários ainda estão sendo criadas ou são inexistentes.

Considerando as etapas apresentadas neste Capítulo, no próximo Capítulo pretende-se aplicar todas elas em um estudo de caso de um veículo elétrico movido a puxão, utilizado para o transporte de resíduos sólidos urbanos recicláveis.

Além de um desafio, esta aplicação mostra-se atualizada com os principais parâmetros utilizados pela indústria automotiva internacional, além de estar baseada em referências normativas.

## 4. ESTUDO DE CASO

Este capítulo descreve o estudo de caso aplicado ao VEC300, que inclui as etapas relacionadas às características do veículo, com a identificação, a classificação, a descrição e a composição material dos componentes, além de dados de consumo energético e valores dimensionais. A avaliação ambiental é realizada por meio da declaração de materiais e substâncias, da determinação da taxa de reciclabilidade, com a aplicação da norma ISO 22628 (2002), e da Avaliação Ambiental do Ciclo de Vida Simplificada, por meio da família de normas ABNT ISO 14040. No final, são apresentadas a análise dos resultados e a discussão.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DO VEC300

O veículo objeto do estudo de caso, aqui denominado VEC300, é um aperfeiçoamento do invento de depósito de pedido de patente nº 000308 de 14 de abril de 1998 (MU7800575), na categoria de modelo de utilidade com o título de “Carro com tração elétrica para transporte de cargas”, do depositante Cebrastec (Centro Brasileiro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico S/C Ltda).

Como foi apresentado na seção 2.6, o veículo é classificado como veículo elétrico à bateria (VEB) para transporte de cargas não tripulado movido a puxão (Figura 4.1).

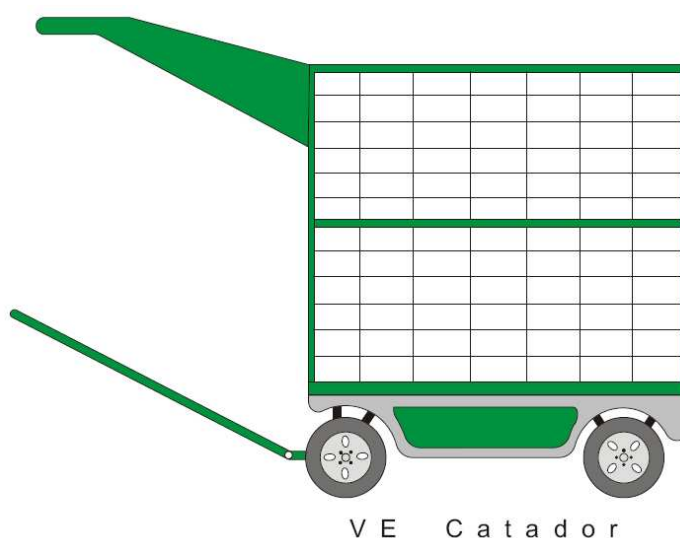


Figura 4.1 - Desenho conceitual do VEC300 (BLEST, 2008)

Os componentes foram classificados em sete grupos (Figura 4.2): chassi, carenagem, mecanismo de tração, mecanismo de acionamento, sistema de armazenamento (container), sistema de rolagem (rodas e pneus) e sistema elétrico (baterias, controladora e motor).

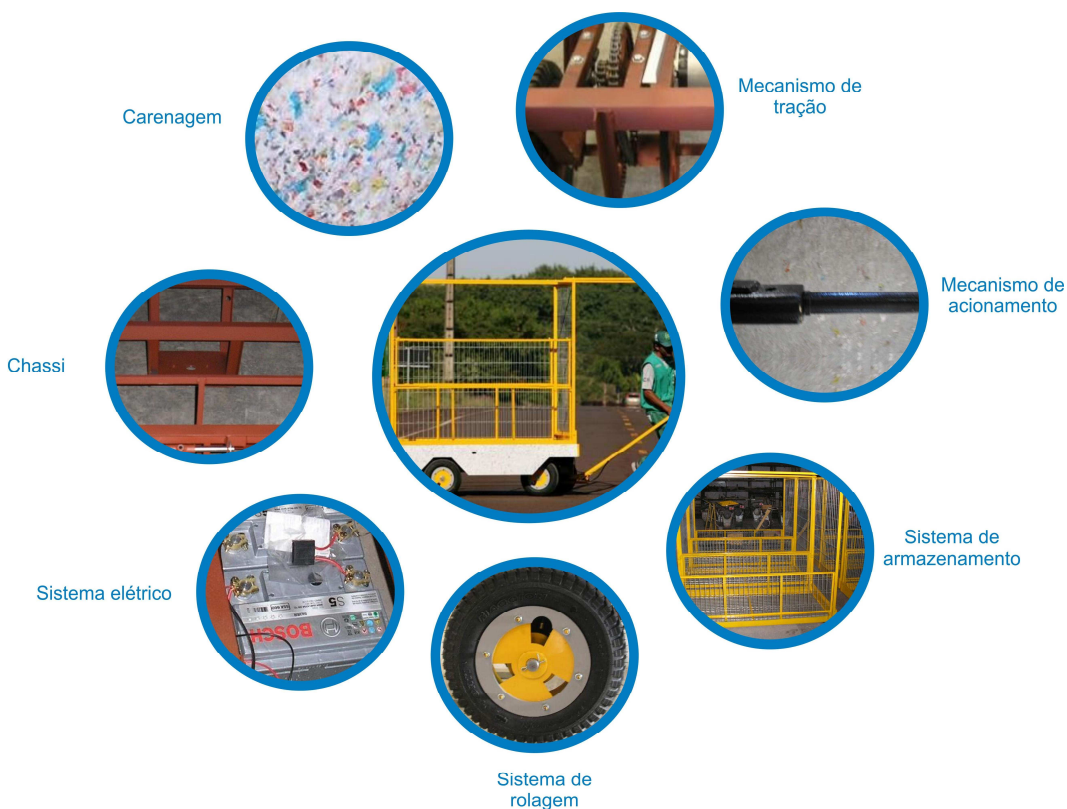


Figura 4.2 - Componentes do VEC300 divididos em sete grupos

Além disso, a Figura 4.3 apresenta um detalhamento de cada um dos sete grupos de componentes e mais dois grupos, como o sistema de segurança e conexões.

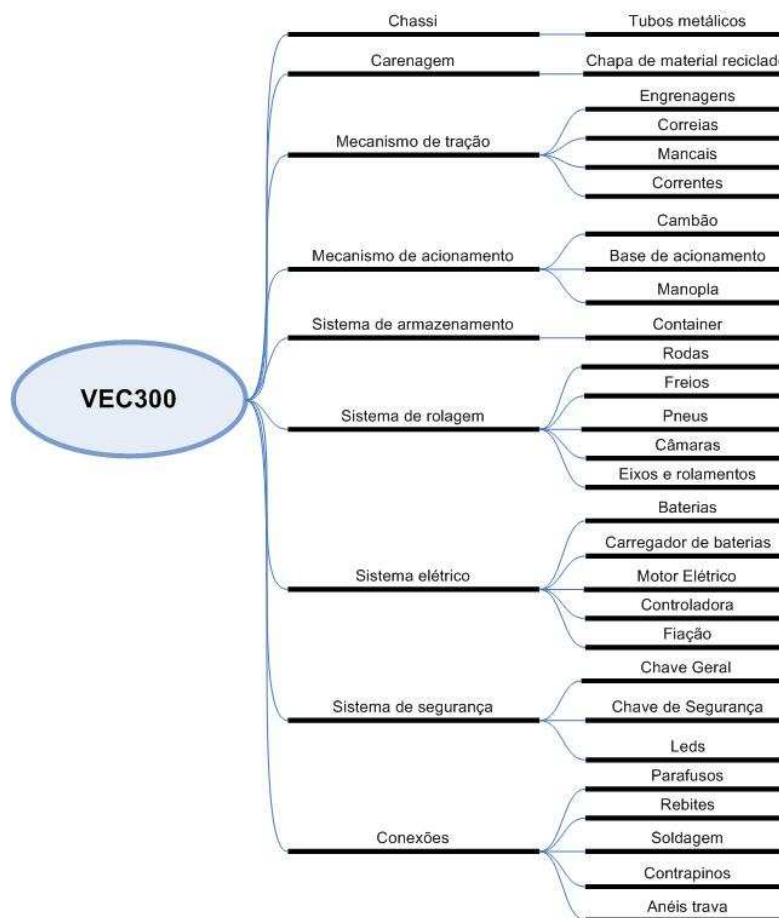


Figura 4.3 - Descrição e detalhamento dos componentes

O veículo possui massa de 316 kg (Figura 4.4) e capacidade nominal de carga de 300 kg. As baterias de chumbo-ácido, com 12 V e 150 A promovem uma potência de 750 W. Com isso, a autonomia é de cerca de 25 km por carga de bateria. O tempo para recarga é em torno de seis horas (BLEST, 2010).

O sistema de rolagem é composto de quatro pneus infláveis, com rodas de oito polegadas desenvolvidas especificamente para o veículo. O acionamento é manual por botoeiras. Por questões de segurança, a haste de acionamento possui um sistema bloqueador que trava o sistema de tração a partir de um determinado grau de inclinação.



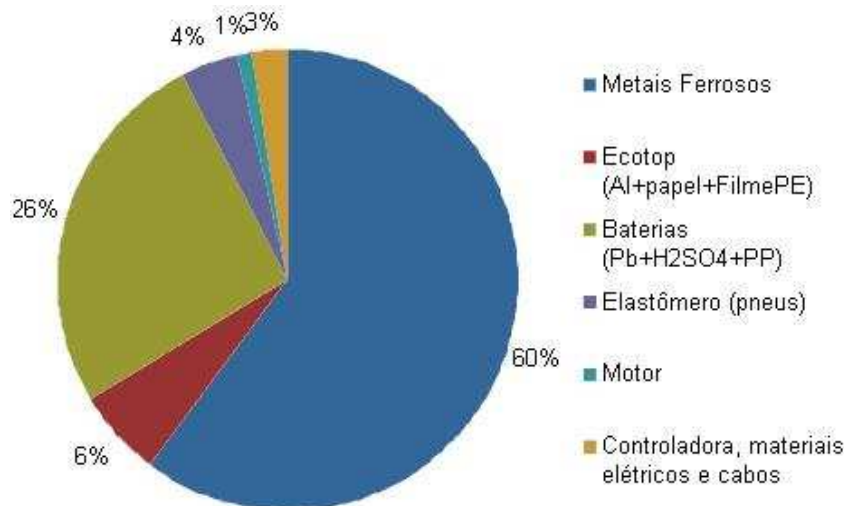


Figura 4.4 - Percentual em massa dos materiais utilizados no VEC300 (baseado em BLEST, 2009a)

O container é modular e não possui fixação com o chassi. A carenagem é feita do material denominado comercialmente de “Ecotop” e fixada com rebites nas barras metálicas do chassi. Estas e outras informações específicas do veículo estão detalhadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Dados técnicos do VEC300 (BLEST, 2009b)

	<b>VEC300</b>
<b>Descrição</b>	Veículo elétrico para catadores de materiais recicláveis
<b>Capacidade de carga (kg)</b>	Até 300
<b>Massa própria (kg)</b>	316
<b>Dimensões da plataforma CxLxH (mm)</b>	1900x950x500
<b>Chassis</b>	Perfil em aço estrutural
<b>Rodas</b>	Aro 8"
<b>Pneus</b>	Inflável reforçado
<b>Carenagem</b>	Chapa de Ecotop (material reciclado)
<b>Velocidade (km/h)</b>	Ajustável até 5
<b>Operação</b>	Não tripulada através de haste de comando
<b>Motor</b>	1HP (~750W)
<b>Controladora</b>	Blest 24V
<b>Baterias</b>	2x12Vx150A
<b>Autonomia</b>	25km por carga de bateria
<b>Carregador de baterias</b>	BC1000 Blest Automático 110-220V
<b>Tração</b>	Rodas traseiras
<b>Freios</b>	Mecânico, nas rodas dianteiras
<b>Segurança</b>	Chave geral e chave de emergência
<b>Opcionais</b>	Gaiola (container) em aço estrutural gradeada 1900x950x1600
<b>Local de utilização</b>	Utilizado principalmente na coleta e movimentação de materiais recicláveis nas ruas das cidades até os barracões de processamento, minimizando assim o esforço físico do catador em relação a atual operação que exige esforço humano para sua movimentação.

### 4.1.1 Descrição das baterias

De acordo com Licco (2000), as baterias de chumbo-ácido são compostas de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) nos eletrólitos, termoplásticos na caixa (polipropileno, PP), placas de chumbo (Pb), óxidos de chumbo (PbO) e contadores de coleta de energia (Figura 4.5).

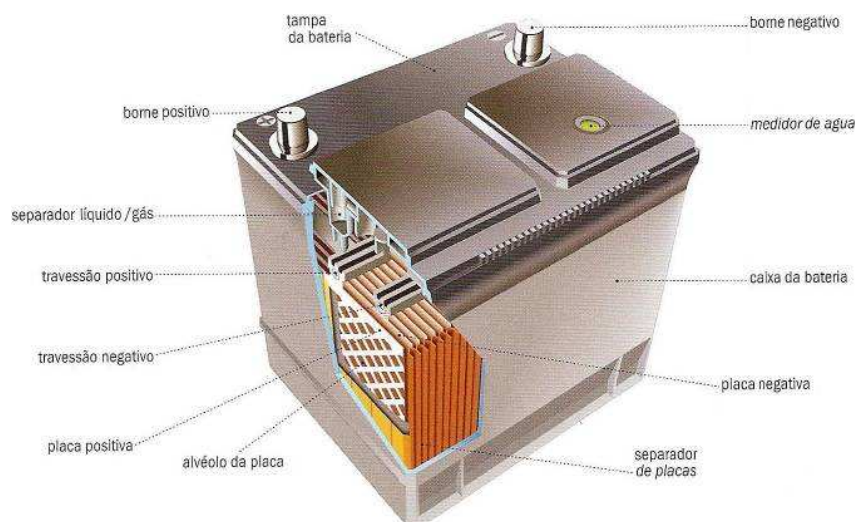


Figura 4.5 - Caracterização dos componentes de uma bateria de chumbo-ácido (CORBEIL e ARCHAMBAUL, 2007)

Em termos percentuais, Licco (2000) afirma que o chumbo metálico, os sais e óxidos de chumbo e o ácido presentes, são os materiais com as massas mais significativas em uma bateria de chumbo-ácido (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Composição percentual mais provável de baterias de chumbo-ácido tipo SLI (FRANCISCO, 1998 *apud* LICCO, 2000)

Componente	% em massa
Chumbo metálico	17
Sais e óxidos de chumbo	50
Plásticos	5
Ácido	24
Residuais (ebonite e separadores)	4
Total	100

Já os materiais recicláveis presentes em uma bateria de chumbo-ácido, são proporcionais tanto para baterias de chumbo-ácido utilizadas no sistema de ignição de automóveis quanto para aquelas tracionárias utilizadas em veículos elétricos (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Materiais recicláveis presentes em baterias veiculares e tracionárias de chumbo-ácido (KIENE, 1995 *apud* LICCO 2000)

Material reciclável	Quantidade (kg)	
	Baterias Veiculares (12V, 44Ah, 220V)	Baterias Tracionárias (24V, 500Ah, DIN 43.535)
Chumbo	8,4	262,7
Plásticos	1,1	35,4
Eletrólito (parte encontrada livre, parte encontrada nos eletrodos)	3,8	83,5
Aço		58,4
Cobre		1,7
Massa total	13,3	441,7

No caso do VEC300, são utilizadas duas baterias de chumbo-ácido da marca Bosch série S5 linha Silverstar (Figuras 4.6 e 4.7).

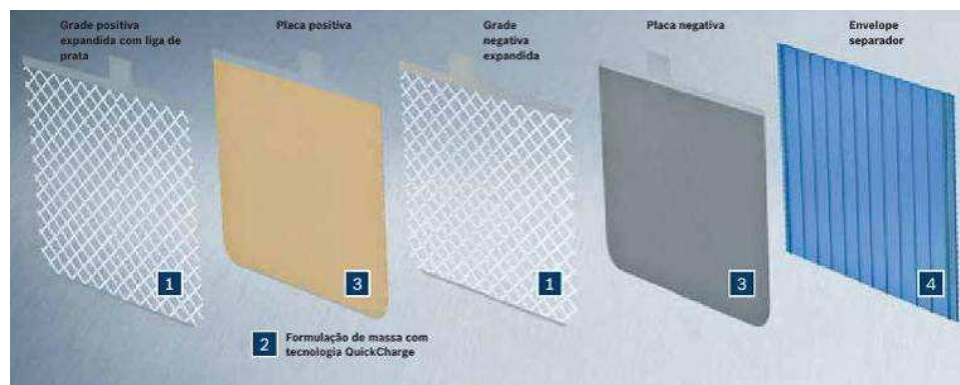


Figura 4.6 - Caracterização dos componentes da bateria de chumbo-ácido Bosch série S5 (BOSCH, 2007)

De acordo com a Figura 4.6, as baterias são compostas de grades (1) que servem de suporte para a massa ativa e têm a função de conduzir eletricidade. A formulação de massa (2) é feita com a utilização da tecnologia *QuickCharge*, que permite a rápida recarga das baterias *SilverStar*, obtendo o máximo rendimento desde o início da carga (BOSCH, 2007).

Com isso, não é necessário o aumento da tensão do carregador para que a bateria inicie o processo de recarga. As placas (3) são os conjuntos formados pela grade mais a massa ativa. As placas negativas e positivas encontram-se intercaladas no bloco, separadas por um material isolante, para que uma não encoste na outra ocasionando um curto-circuito. Isso fornece um maior volume de ácido acima das placas (*i.e.* reserva de segurança), além de que placas com cantos arredondados evitam perfuração do envelope e fornecem um melhor comportamento

em cargas cíclicas (carga e descarga). Os separadores (4) são os envelopes separadores microporosos de polietileno, responsáveis por isolar as placas positivas das placas negativas, impedindo o curto-circuito (BOSCH, 2007).

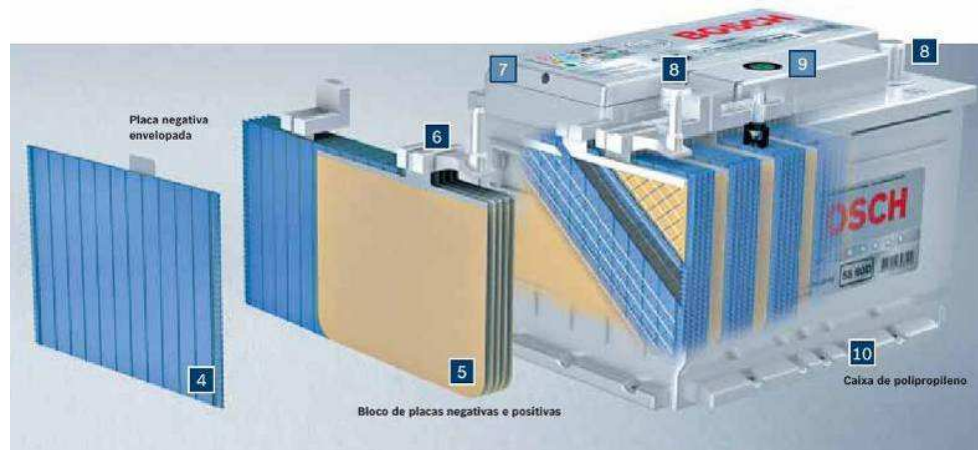


Figura 4.7 - Caracterização dos componentes da bateria de chumbo-ácido Bosch série S5 (BOSCH, 2007)

Na Figura 4.7, o bloco (5) é o conjunto de placas positivas, negativas e separadores, interligados por conexões. A conexão (6) tem a função de interligar as placas de mesma polaridade dentro de um mesmo bloco e interligar cada bloco com o seu subsequente em série. A localização dos conectores evita um possível curto-circuito em virtude de um eventual deslocamento da placa oposta, um dos principais motivos de “morte” das baterias construídas com conexões laterais (BOSCH, 2007).

A tampa (7) tem a função de manter os vasos selados, impedindo a saída do eletrólito para o ambiente externo, além de evitar a entrada de substâncias para o interior da bateria. Promove um labirinto para condensação e retorno de líquido para dentro da bateria. Os pólos terminais (8) são os terminais externos da bateria, onde estão ligados os cabos para alimentação do circuito elétrico do veículo. Os pólos importados são forjados a frio, processo que impede a formação de poros (BOSCH, 2007).

O indicador de carga (9) é um indicador com mudança de cor. A caixa (10), fabricada em polipropileno de alta resistência, tem a função de acomodar o bloco de placas que vai constituir cada elemento da bateria (BOSCH, 2007).

A descrição das baterias de chumbo-ácido utilizadas no VEC300 está contida na Tabela 4.4. Cada bateria possui uma massa de 41,0 kg, com tensão de 12 V e corrente de 150 A.

Tabela 4.4 - Descrição da bateria de chumbo-ácido Bosch série S5 (BOSCH, 2007)

Código	Nº Código BOSCH	Características Elétricas			Dimensão Externa (mm)			Esquema de Montagem	Fix.	Massa (Kg)	Código ABNT	Tipo Pólo (Fig.)
		C20 (Ah)	RC (Min.)	CCA(A)	C	L	A					
S5 150E	0 092 S58 210	150	280	950	513	223	218	B-25	F4	41,0	150- S2	1

C: comprimento; L: Largura; A: Altura.

Um fator importante para assegurar o bom funcionamento da bateria é a armazenagem correta. A bateria deve ser armazenada sobre estrados de madeira, na posição horizontal, devendo permanecer em lugar seco, sem incidência de raios solares e com temperatura ambiente entre 10°C e 35° C. Para redução de cursos de recargas, deve-se seguir o procedimento de estocagem FIFO (*first in, first out*), ou seja, a primeira bateria a entrar no estoque deverá ser também a primeira a sair (BOSCH, 2007).

Deve-se verificar as condições de carga periodicamente, medindo-se a tensão entre os terminais da bateria estocada. Caso a tensão encontrada esteja abaixo de 12,3 V recomenda-se a recarga da bateria. O tempo de armazenagem das baterias Bosch é maior em relação às baterias de baixa manutenção, pois a taxa de autodescarga é menor em virtude da inexistência de antimônio nas grades. Para o empilhamento das baterias até 75 Ampère-hora, deve-se limitar o empilhamento em até cinco camadas, enquanto para baterias acima de 90 Ampère-hora, o limite é de até três camadas (BOSCH, 2007).

De acordo com Licco (2000), a vida das baterias de chumbo-ácido, utilizadas nos sistemas de ignição em automóveis chega a 29 meses no Brasil (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Vida útil estimada para baterias automotivas em diferentes países e regiões (RICH, 1995 *apud* LICCO 2000)

Região / País	Meses
Europa Ocidental	64
Canadá	60
Japão	57
Austrália	37
EUA	36
Brasil	29
Índia	21
Coréia do Sul	19





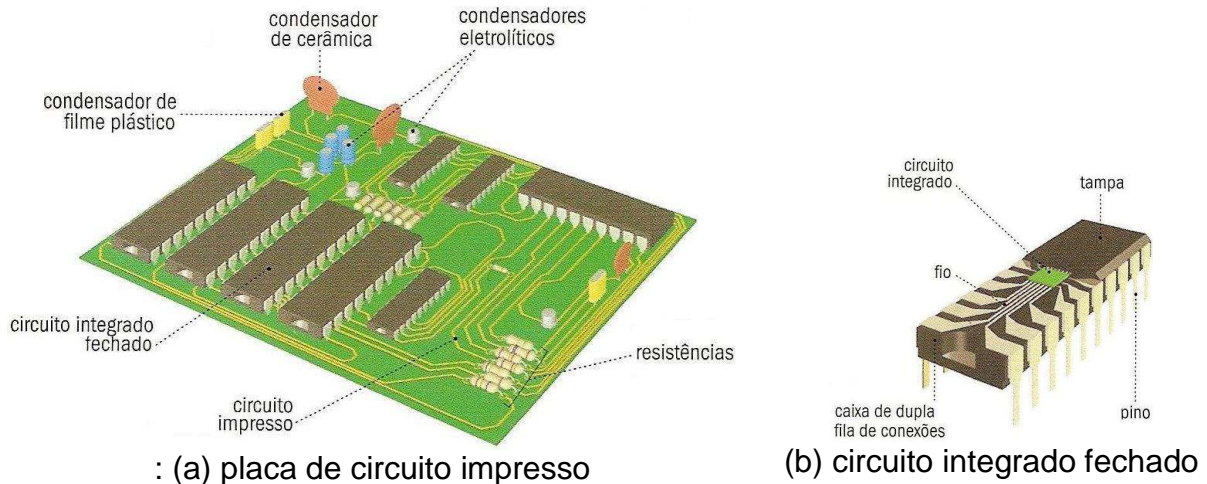


Figura 4.9 - Caracterização de alguns componentes da controladora

(CORBEIL e ARCHAMBAUL, 2007)

#### 4.1.4 Descrição dos pneus

Os pneus são da marca Maggion modelo Forti (Figura 4.10). São pneus infláveis, compostos cada um de uma câmara. São utilizados em veículos industriais de baixa velocidade tais como carros-plataforma e empilhadeiras (serviço intermitente), com rodas motrizes (trativas) e rodas direcionais. De acordo com o fabricante, possuem alta resistência nas laterais (*i.e.* resistência a esforços axiais) e a impactos frontais, além de eficaz tracionamento e facilidade de rolamento.



Figura 4.10 - Pneu modelo Forti utilizado no VEC300

De acordo com a Maggion (2009b), os valores de massa dos pneus variam em função do processo de fabricação. São compostos basicamente de elastômeros (borracha), fios de aço e poliamida (*nylon*). A Tabela 4.6 apresenta a especificação técnica dos pneus de acordo com a aplicação.

Tabela 4.6 - Especificação técnica dos pneus modelo Forti da marca Maggion  
(MAGGION, 2009b)

Medida	3.75-8"	3.75-8"
Capacidade de Carga	8	4
Carga Máx.(kg)	605	390
Pressão (lbs/pol2)	125	70
Velocidade Máxima (km/h)	8	8
Carga Máx. (kg)	495	310
Pressão (lbs/pol2)	125	70
Velocidade Máxima (km/h)	16	16
Carga Máx.	430	285
Pressão (lbs/pol2)	125	70
Velocidade Máxima (km/h)	24	24
Medida da Câmara	MJ-8	MJ-8
Largura da Seção Sem Carga (mm)	103	103
Diâmetro Externo (mm)	386	386
Massa (kg)	2,190 (8 lonas)	1,640 (4 lonas)

As rodas permitem uma facilidade de troca dos pneus, com a utilização de seis parafusos de cabeça sextavada. A calota da roda permite que o enchimento da câmara não necessite da retirada do grupo pneu e roda do veículo, facilitando a inserção de ar comprimido. Além disso, o fabricante fornece um *kit* com uma ferramenta (chave-combinada) específica para as porcas das rodas, uma câmara de ar e uma bomba de enchimento manual. Este *kit* fica localizado na parte inferior do veículo, próximo ao eixo dianteiro.

#### 4.1.5 Descrição dos componentes de matriz metálica ferrosa

Os materiais metálicos ferrosos (Figura 4.11) são aplicados em pelo menos quatro grupos de componentes do VEC300: chassi, sistema de armazenamento (containeres), sistema de acionamento e mecanismo de tração.



(a) chassi e transmissão mecânica



(b) containeres



(c) haste de acionamento

Figura 4.11 - Fotos ilustrativas dos metais ferrosos aplicados no VEC300 (imagens registradas pelo autor pelo autor em 09/05/2009 nas instalações da planta industrial de montagem do VEC300)



Estes metais são compostos basicamente de aços (liga Fe-C) 1010 e 1020 e chegam no formato de tubos, chapas, cantoneiras e arames. Passam por processos de fabricação tais como: corte, furação, usinagem (torno e fresamento), proteção de superfícies (pintura) e união por soldagem MIG e parafusos.

#### 4.1.6 Descrição do “Ecotop”

O material empregado na carenagem é denominado comercialmente de “Ecotop” (Figura 4.12), utilizado essencialmente nas áreas de construção civil, moveleira, decoração, arquitetura, indústria naval e de embalagens.



Figura 4.12 - Exemplo de chapa de “Ecotop” (ECOTOP, 2009)

É um material proveniente do reciclo aberto pré-consumo de aparas de tubos de creme dental (*i.e.* bisnagas de pastas de dentes), compostas de termoplásticos como polipropileno (75%) e folhas de alumínio (25%). Para uma chapa de dois metros de comprimento por um metro de largura são utilizadas cerca de 700 aparas.

O processo de formação das chapas consiste em três etapas: a) na trituração das aparas; b) na compactação pela prensagem a quente (180°C); c) no corte nas dimensões especificadas.

De acordo com o fabricante (ECOTOP, 2009), estas chapas suportam uma força de compressão de até 125 kgf/m<sup>2</sup> e uma massa de até 200 kg. Possuem variação de espessura e massa apresentados na Tabela 4.7. Sua superfície aceita tinta acrílica, texturas e diversos acabamentos.

Tabela 4.7 - Valores de espessura e massa das chapas “Ecotop” (ECOTOP, 2009)

Espessura (mm)	Massa (kg)
6	14,00
8	18,60
10	23,30

Devido a variação nos valores dimensionais como comprimento, largura e espessura, além da massa, foram analisadas sete amostras (Figura 4.13), com o objetivo de evidenciar a falta de uniformidade nas chapas (Tabela 4.8).



Figura 4.13 - Amostras das sobras das chapas de “Ecotop” utilizadas na carenagem do VEC300

Tabela 4.8 - Dados de massa e dimensionais das amostras de chapas “Ecotop”

Amostra	Massa (g)	Dimensões (mm)						
		C	L1	L2	L3	e1	e2	e3
1	143,00	299,65	98,00	99,60	99,75	6,30	5,50	4,60
2	145,00	300,25	97,60	98,75	97,80	5,25	5,35	4,65
3	133,00	300,70	98,10	97,50	96,95	6,85	5,25	4,20
4	159,00	300,30	97,30	98,40	98,70	5,80	5,90	5,40
5	176,00	299,65	99,00	98,75	98,80	6,50	6,35	5,60
6	146,00	299,90	96,15	93,60	96,35	5,45	5,80	5,10
7	158,00	300,50	97,55	97,60	97,45	5,80	5,60	5,20

C: Comprimento; L: Largura; e: Espessura

As massas foram determinadas com a utilização de uma balança digital analítica de precisão, localizada em um ambiente com pressão atmosférica de um atmosfera (1 atm), com umidade relativa do ar em 89% e temperatura de 18°C. Os resultados são apresentados nas Figuras 4.14, 4.15 e 4.16.

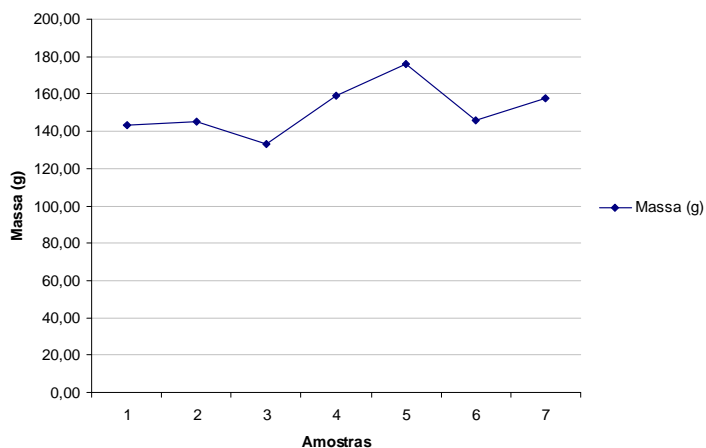


Figura 4.14 - Variação na massa das chapas “Ecotop”

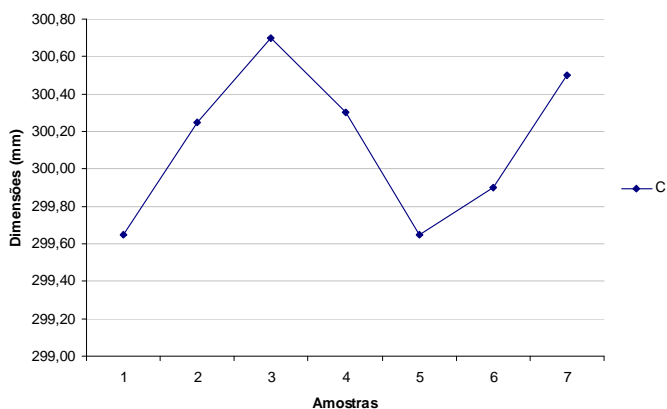


Figura 4.15 - Variação dimensional no comprimento das chapas “Ecotop”

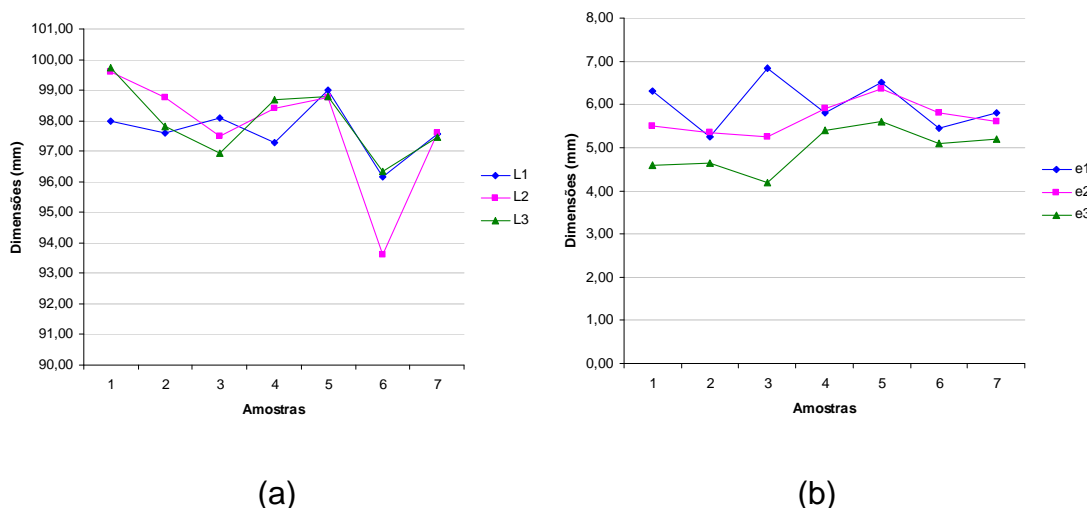


Figura 4.16 - Variação dimensional das chapas “Ecotop”: (a) largura; (b) espessura

No entanto, ensaios destrutivos mecânicos de tração, compressão e fadiga não foram realizados, assim como de medição de dureza, testes de resistência ao desgaste e de condutividade térmica. Os eventuais resultados destes ensaios não foram identificados como prioritários para a avaliação ambiental.

De acordo com o fabricante do VEC300 (BLEST, 2008), além do apelo ambiental que este material possui, ao agregar valor a resíduos industriais pré-consumo que levariam um tempo de degradação a céu aberto de 100 a 500 anos, estas chapas contribuem para a resistência à corrosão e facilidade de limpeza, durante a fase de utilização.

## 4.2 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Baseado nas frentes adotadas pela engenharia automotiva internacional e comprovado pela implementação da metodologia de ACV em um caminhão produzido no Brasil (MARQUES e ALVES, 2009), são apresentados três parâmetros essenciais para a avaliação ambiental do VEC300 (Figura 4.17) conforme abordado na seção 3.2.

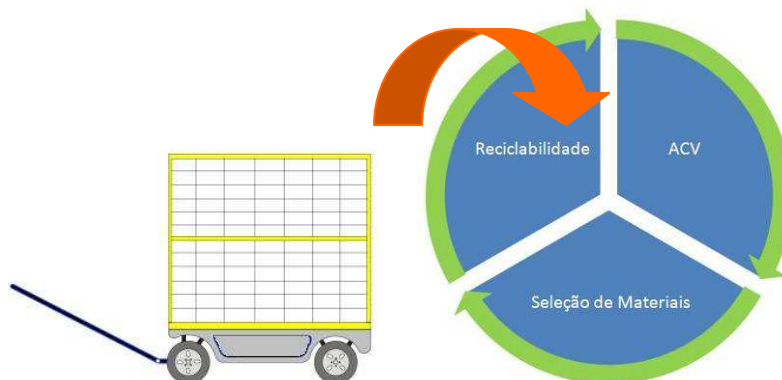


Figura 4.17 - Diagrama de inter-relacionamento dos três parâmetros essenciais para avaliação ambiental do VEC300

Os três parâmetros envolvem:

- a) Seleção de Materiais: inclui a declaração de todas as substâncias existentes nos componentes, incluindo as nocivas e tóxicas, por meio de plataformas eletrônicas internacionais IDIS (2009) e IMDS (2009);
- b) Reciclabilidade: inclui a definição de taxas de reciclabilidade ISO 22628 (2002) e facilidades de desmontagem (*i.e.* projeto para a desmontagem em via de facilitar a separação de componentes de diferentes materiais);
- c) ACV (Avaliação do Ciclo de Vida): com a utilização de dados de fluxos ambientais (*i.e.* quantidade de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, entre outros) estes são enquadrados de acordo em diferentes categorias (*i.e.* aquecimento global, trocas climáticas, acidificação, eutrofização, escassez de recursos, entre outros). É aplicada por meio de uma ferramenta do Sistema de Gestão Ambiental regulamentada pela família de normas ISO 14040 e por base de dados internacionais (*e.g.* *Ecoinvent* da Suíça, *Idemat*, entre outros) e de softwares específicos (*e.g.* *SimaPro*, *Gabi*, entre outros).

Enquanto a seleção de materiais e a reciclabilidade estão necessariamente relacionados aos dados do produto (*i.e.* descrição e valores de massa,

componentes, projeto detalhado, entre outros), a ACV envolve os processos relacionados ao produto, com as entradas e saídas de cada fase do ciclo de vida e do sistema de produto delimitado.

Para isso, em todas as etapas do ciclo de vida do produto devem ser considerados: o controle das emissões em meios sólidos, líquidos e gasosos; o consumo energético; e o consumo de recursos. Para o caso do VEC300, é apresentada a descrição dos indicadores que devem ser considerados em cada fase do ciclo de vida (Figura 4.18).



### 4.2.1 Seleção de materiais

Conforme descrito no Capítulo 3, a seleção de materiais é baseada na declaração de substâncias, a qual inclui a declaração de todas substâncias existentes nos componentes de um veículo, incluindo as nocivas e tóxicas (*i.e.* de uso restrito ou proibido), sendo neste caso utilizada a plataforma IMDS (2009).

A partir do modelo de proposto de estrutura de lançamento de dados de MDS (*Material Data System*) descrito no Capítulo 3, a Figura 4.19 apresenta um exemplo de estrutura de dados para o componente bateria do grupo de componentes do sistema elétrico.

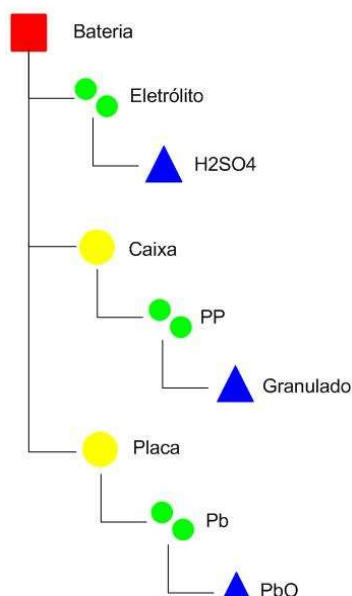


Figura 4.19 - Exemplo de estrutura de dados de um MDS para o VEC300 (baseado em IMDS, 2009)

Para os casos de desmontagem e seguimento, sobretudo, às diretivas europeias para Veículos em Final de Vida (VfV) é utilizada a plataforma IDIS (2009). Neste caso, a aplicação de acordo com a plataforma internacional IDIS (*International Dismantling Information System*), o VEC300 não foi cadastrado.

Todavia, o VEC300 poderia ser examinado conforme apresentado na seção 2.2 e na Tabela 4.9. Em cada uma das áreas é apresentada uma descrição geral de possíveis peças em que a declaração poderia ser realizada, com a respectivas informações quanto ao manuseio seguro dos componentes, incluindo instruções de desmontagem e transporte das baterias e informações sobre componentes potencialmente recicláveis.



Tabela 4.9 - Conjunto de parâmetros associados aos grupos de componentes do VEC300 que podem ser inseridos no modelo IDIS versão 4.29

Área	Recomendação para o VEC300	Observação
Baterias	Instruções de desmontagem das baterias (manuseio manual e utilização de equipamentos de proteção), disponibilização de serviço de <i>take-back</i> com o fabricante Bosch (rede de coleta e transporte qualificada).	Atendimento à CONAMA 401(2008).
Pirotecnia	Não aplicável	
Combustíveis	Não aplicável	O IDIS v.4.29 não considera eletricidade como forma de combustível.
AC (Ar Condicionado)	Não aplicável	
Drenagem	Não aplicável	
Catalisadores	Não aplicável	
Peças controladas a serem retiradas	Motor, controladora, botoeiras e cabeamento	
Pneus	Desenho CAD e/ou procedimento de desmontagem dos pneus e retirada das rodas; encaminhar para centros de coleta de pneus inservíveis disponibilizados pelo fabricante Maggion	
Outros Pré-tratamentos	Definir rota para enviar enrolamento do motor, controladora, botoeiras e cabeamento	
Desmontagem dos outros grupos de componentes	Procedimentos para desmontagem das chapas da carenagem ("Ecotop"), com a retirada dos rebites de fixação ao chassi; encaminhar para centros de valorização e reciclagem: metais ferrosos e não ferrosos do chassi, sistema de armazenameto (container), sistema de rolagem, mecanismos de tração e acionamento.	

A título de referência, poucos veículos com tração elétrica foram encontrados nesta base. Em busca realizada em janeiro de 2010, foi encontrado o veículo híbrido Toyota Prius II, cadastrado no sistema IDIS.

#### 4.2.2 Cálculo da taxa de reciclabilidade

Com a aplicação da norma ISO 22628 (2002), que estabelece as diretrizes para o cálculo da taxa de reciclabilidade de veículos automotores, é definida a taxa de reciclabilidade do VEC300.

A partir de uma matriz de cálculo baseada na Equação 06 (apresentada no Capítulo 3), cada grupo de componente foi avaliado de acordo com sua reciclabilidade e capacidade de separação entre os diferentes materiais. A Figura 4.20 apresenta as massas e a taxa de reciclabilidade final do VEC300.

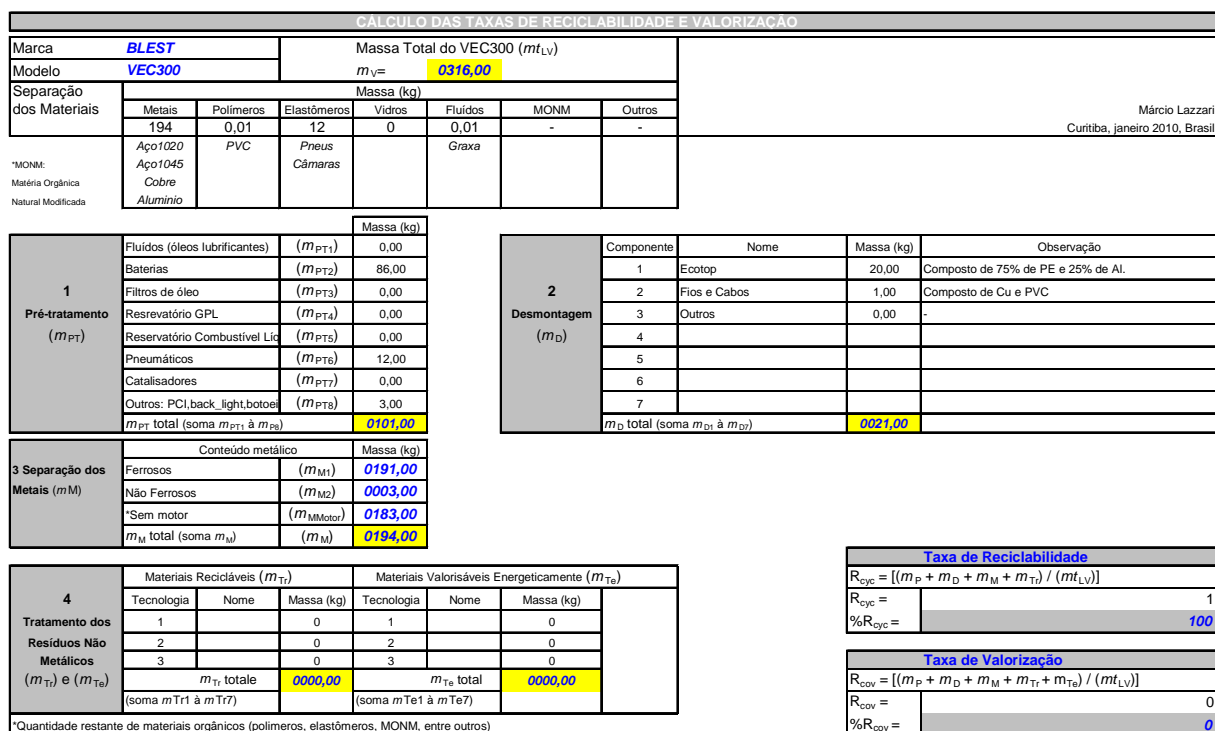


Figura 4.20 - Aplicação da matriz e cálculo da taxa de reciclabilidade do VEC300

Com isso, a taxa de reciclabilidade do VEC300 é de 100%, ou seja, a totalidade do material empregado no veículo é passível de reciclo (aberto ou fechado) em final de vida. Esta é uma taxa que indica a possibilidade de reciclagem em final de vida do VEC300. Baseando-se na taxa de 98,6% do VW 19.320E Constellation apresentada por Marques e Alves (2009), esta taxa torna-se coerente mesmo com este segundo caso tendo características diferentes.

### 4.2.3 ACV ambiental simplificada

#### 4.2.3.1 Definição do objetivo e do escopo

A aplicação da ACV Ambiental Simplificada tem como objetivo avaliar os impactos ambientais decorrentes do sistema de produto do VEC300, um VEB (veículo elétrico à bateria) não tripulado movido a puxão, para transportar resíduos sólidos urbanos recicláveis.

**4.2.3.1.1 Definição da função, unidade funcional e fluxo de referência**

A função selecionada para este estudo foi: “Transportar resíduos sólidos urbanos recicláveis”, com as entradas e saídas caracterizadas em Matéria (M), Energia (E) e Sinal (S), conforme ilustra a Figura 4.21.

ENTRADAS	FUNÇÃO	SAÍDAS
Aços 1010, 1020 e 1045	Transportar resíduos sólidos urbanos recicláveis	Chassis, sistema de armazenamento, mecanismo de acionamento, mecanismo de tração
Ecotop [PP e Al] (chapa de resíduo de bisnaga de creme dental pré-consumo)		Carenagem
Fio [Cu e PVC]		Sistema elétrico
Motor elétrico [Aço e Cu]		
Bateria [Pb (metálico e óxidos), PP e Eletrólito Ácido (H2SO4)]		Sistema de rolagem
Pneus e câmaras [elastômeros]		Mecânica (transmissão)
Elétrica		Cinética (movimento)
		Térmica (através da reação química da bateria)
Botão de acionamento (acionamento do acelerador)		Botão de acionamento (desacionamento do acelerador)
Chave Liga-Desliga (partida)		Chave Liga-Desliga (desacionamento)
Luminoso energia		Luminoso
Plug/Conector fio da bateria		Plug/Conector fio da bateria
		Matéria (M)
	Energia (E)	
	Sinal (S)	

Figura 4.21 - Descrição da função do VEC300

Esta função está relacionada a uma carga total de 616 kg (*i.e.* 300 kg de material transportado e 316 kg da massa do VEC300), distância de 25 quilômetros com uma viagem por dia e frequência de 312 dias ao ano. Foi considerado o período de estudo de dez anos, considerando os anos bissextos como anos regulares (365 dias). O período de dez anos foi adotado arbitrariamente.

Com a aplicação da Equação 07 (apresentada no Capítulo 3), tem-se que a unidade funcional corresponde a 48048 tkm (*i.e.* tonelada quilômetro) para o período de dez anos (*i.e.* 3120 dias). Isto corresponde a uma carga (*i.e. payload*) de  $616 \times 10^{-3}$  toneladas (*i.e.* massa da carga de transporte adicionada a massa do VEC300) para cada 25 quilômetros percorridos por dia (*i.e.*  $2464 \times 10^{-2}$  kg/km percorrido). Anualmente, isto equivale a uma carga de  $192192 \times 10^{-3}$  toneladas para cada 7800 quilômetros transportados. A Tabela 4.9 complementa os parâmetros da unidade funcional.

Tabela 4.10 - Parâmetros da unidade funcional

Descrição	Unidade	Parâmetro	Quantidade	Considerações
Nº viagens	Qtd/Un.	Nv	1	Uma viagem por dia
Massa transportada	kg	mt	616	Estimado para a massa máxima transportada (capacidade do veículo de acordo com informações do fabricante) e massa do veículo.
Distância percorrida	km	dp	25	a) Baseada na rota máxima diária informada pelos usuários; b) Não considera condições climáticas como fator limitante; c) Não considera parada por falhas no equipamento; d) Equipamento utilizado por diferentes usuários.
Frequência	dias/ano	fq	3120	6 dias / semana ou 312 dias / 52 semanas
Resíduos Sólidos Urbanos Recicláveis Transportados	tkm	Uf	48048	Confirmar a duração de vida dos componentes através do fluxo de referência

Esta unidade funcional corresponde ao cenário mais pessimista (*i.e.* maior distância com maior carga), considerado carga-máxima de transporte, uma vez que foi considerado que a massa de carga seria transportada de um local para outro, como acontece em operações logísticas usuais.

No entanto, no cenário de coleta de resíduos municipais, a massa de coleta aumenta de acordo com a distância percorrida. Diante disso, são apresentados três cenários, nos quais a unidade funcional seria alterada (Tabela 4.11 e Figura 4.22).

Tabela 4.11 - Cenários que podem simular outras unidades funcionais

	Cenário Pessimista	Cenário Realista	Cenário Otimista
Distância (km)	25	10	1
Carga Transportada por viagem (kg)	300	300	300
Carga Transportada em um dia (kg)	300 (1 viagem de 25 km)	900 (3 viagens de 10 km cada)	7500 (25 viagens de 1km cada)

O cenário pessimista é o mais próximo da realidade atual dos agentes de coleta, com a utilização de veículos movidos à propulsão humana. Com isso, são transportados cerca de 300 kg de carga. No cenário realista, é apresentada a distância de dez quilômetros, com cerca de três viagens por dia. Já no cenário otimista, são consideradas 25 viagens com as rotas de um quilômetro cada. Em todos os cenários não foi considerada a massa do veículo.

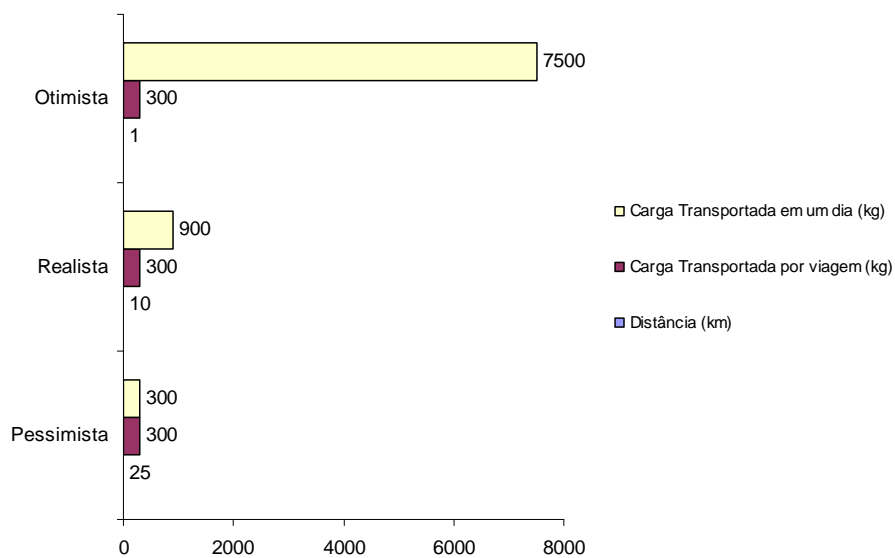


Figura 4.22 - Cenários que podem simular outras unidades funcionais

A partir do período de dez anos para a durabilidade do VEC300 foi determinado o fluxo de referência, para o transporte de resíduos sólidos urbanos recicláveis:

- a) Dez baterias de chumbo-ácido (duas a cada dois anos);
- b) Dois motores (um a cada cinco anos);
- c) Dez pneus (dois a cada dois anos);
- d) Quarenta câmaras de ar (uma ao ano para cada pneu);
- e) Duas chapas de Ecotop cortadas (para dez anos);
- f) Os demais itens foram considerados unitários para o período de dez anos.

A Tabela 4.12 complementa os parâmetros do fluxo de referência.

Tabela 4.12 - Descrição do fluxo de referência

Componente	Quantidade	Material	Duração de Vida (é dada através de)	Previsão do Fabricante	Variável (□)	Unidade	Equação (quando aplicável)	Considerações
Bateria	10	Pb, PbO, PP e Elerólito Ácido (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Número de recargas	2 baterias / 8 horas (2 a cada 2 anos)	Massa transportada (mt); Inclinação do terreno (ti); Tempo de utilização (tu)	(k)Wh	Rendimento de utilização da Bateria $Nr = \frac{m^t \cdot \text{consumo energético}}{U_{\text{cap}} \cdot \text{tempo de utilização}} \cdot N$	A equação mostra os fatores limitantes e indicam a quantidade do fluxo de referência relacionada à unidade funcional estipulada. A potência da bateria é dada através da relação $Nr \cdot U_{\text{cap}} = P$ a qual irá definir o número de recargas para a respectiva tecnologia da bateria
Pneus (Sistema de rolagem)	10	Elastômero	Distância percorrida	2 pneus / 2 anos	Massa transportada (mt), distância percorrida (dp), tipo de terreno (tt)	(k)m	Não definida	Estimado para a massa transportada (capacidade do veículo de acordo com informações do fabricante).
Câmaras (Sistema de rolagem)	40	Elastômero	Distância percorrida ou número de enchimentos	40 câmaras / N enchimentos	Massa transportada (mt) e distância percorrida (dp), tipo de terreno (tt)	(k)m ou bar	Não definida	Estimado para a massa transportada (capacidade do veículo de acordo com informações do fabricante); 1 ao ano para cada pneu.
Chapa Ecotop	02	Ecotop esp. 10mm (confirmar variabilidade das amostras); Material proveniente do reciclo industrial de biensaga de pastas de dentes compostas de Al (25%) e PP (75%).	Desgaste por atrito, intempéries (índice pluviométrico, umidade do ar, temperatura de trabalho) e má utilização	Não informado	Índice pluviométrico; umidade do ar; temperatura de trabalho.	DesgChEcot / m <sup>2</sup>	Não definida	---
Sistema de armazenamento	01	Chapas estruturais, tubos de aço e arames	Desgaste por corrosão (intempéries); quebra por fadiga, má utilização	Não informado	Índice pluviométrico e vento (associado com umidade relativa do ar).	DesgMetal / m <sup>2</sup>	Não definida	Duração de vida é estimada e variável em função das condições meteorológicas a que o VEC300 é exposto.
Mecanismo de transmissão	01	Engrenagens, Eixos, Cambão de acionamento	Desgaste por corrosão (intempéries); quebra por fadiga, má utilização	Não informado	Índice pluviométrico e vento (associado com umidade relativa do ar).	DesgMetal / m <sup>2</sup>	Não definida	
Chassis (inclui eixos das rodas e sistema de frenagem)	01	Chapas e tubos estruturais	Desgaste por corrosão (intempéries); quebra por fadiga, má utilização	Não informado	Índice pluviométrico e vento (associado com umidade relativa do ar).	DesgMetal	Não definida	

4.2.3.1.2 Sistema do produto

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040 (2009), as fronteiras do sistema determinam quais unidades do processo devem ser incluídas na ACV. Baseado nisso, a Figura 4.23 apresenta o sistema de produto do presente estudo.

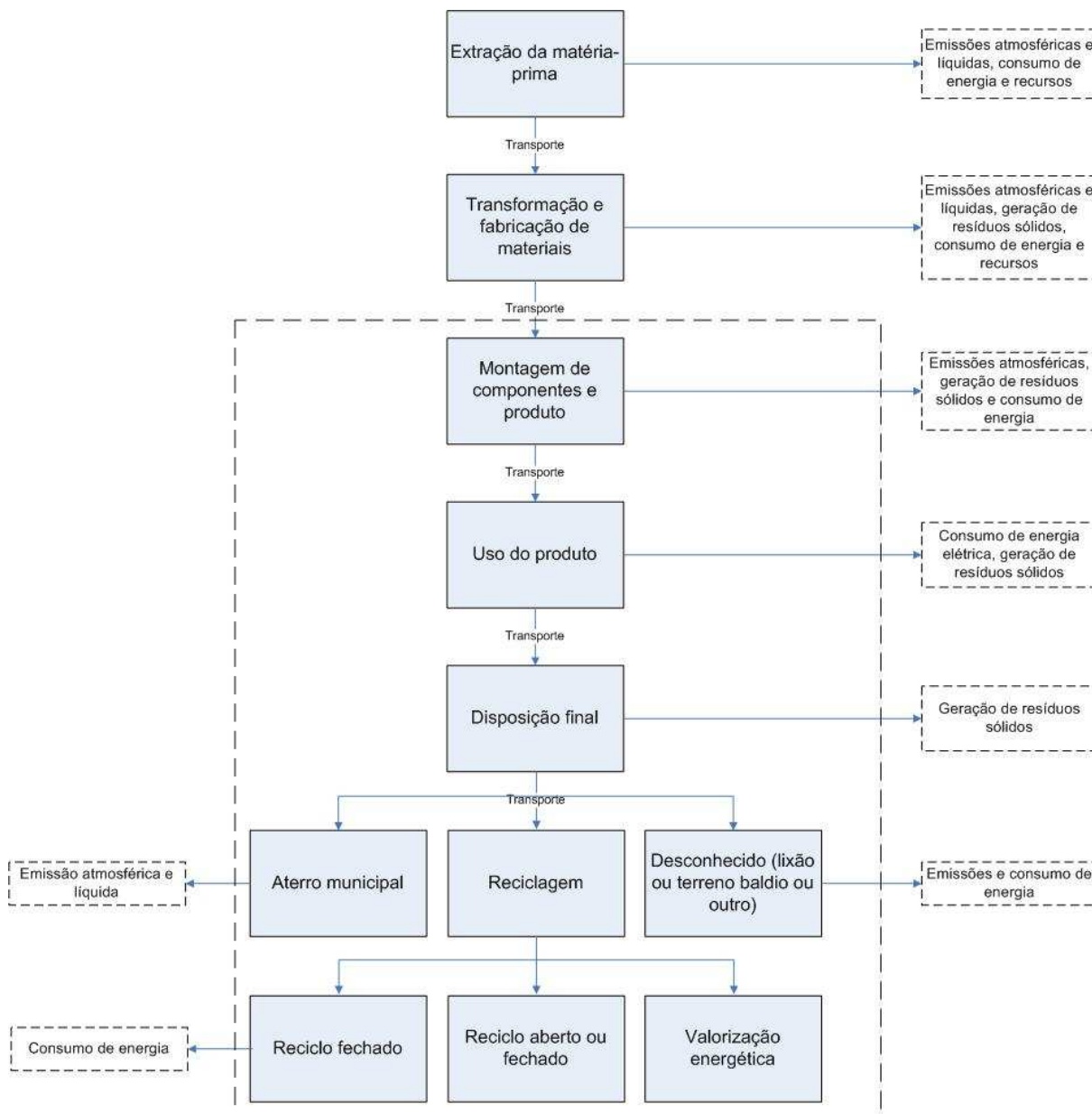


Figura 4.23 - Sistema de produto do estudo

Materiais contidos em componentes como o chassi (metais ferrosos e aço), pneus (elastômeros) e baterias (chumbo), por possuírem uma massa representativa e por terem processos de reciclagem (aberta e fechada) já traçados no Brasil, tem seus processos de ciclo de vida mapeados nas Figuras 4.24 à 4.26.

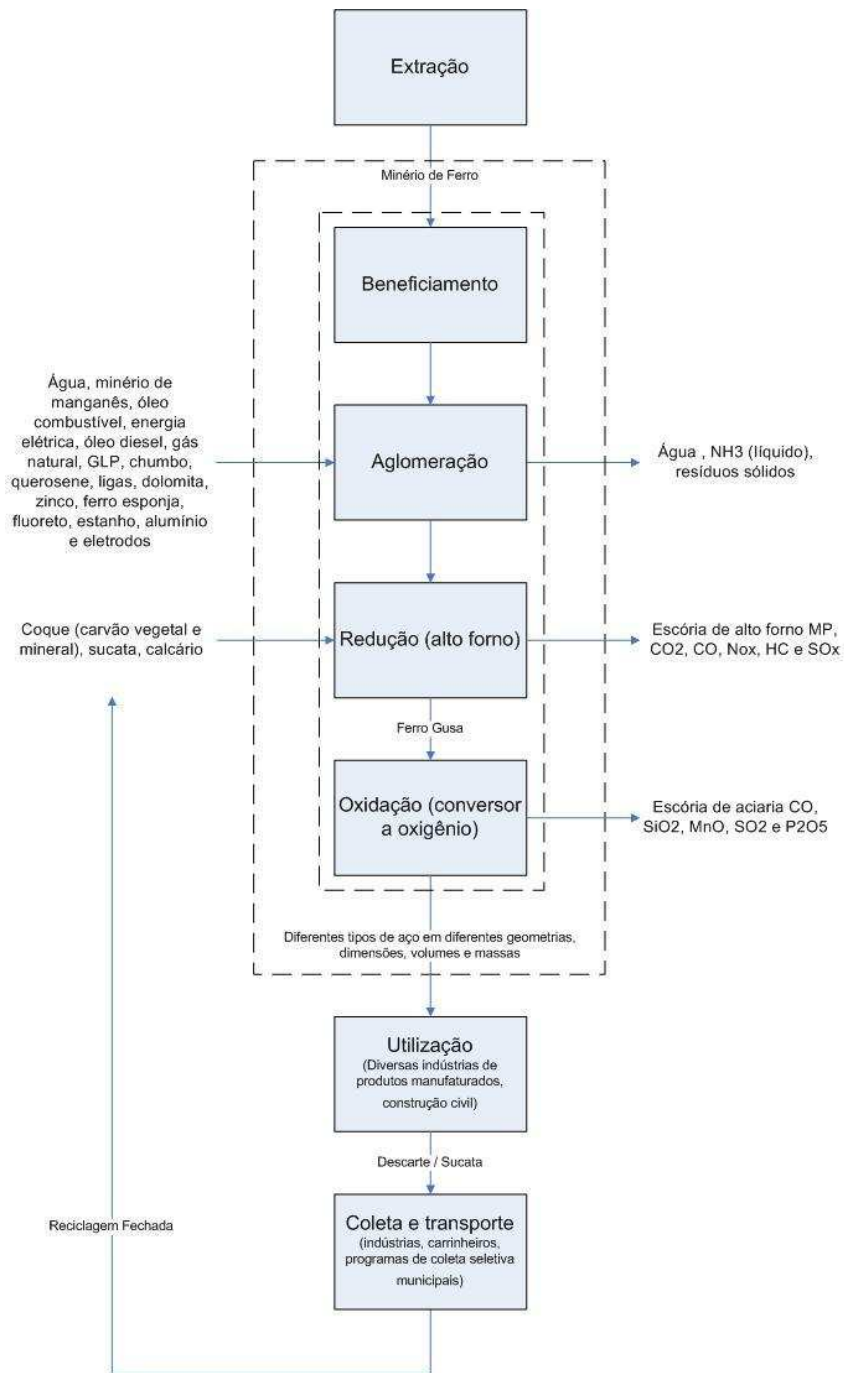


Figura 4.24 - Mapeamento de processos do ciclo de vida do aço automotivo (adaptado de UGAYA, 2005)



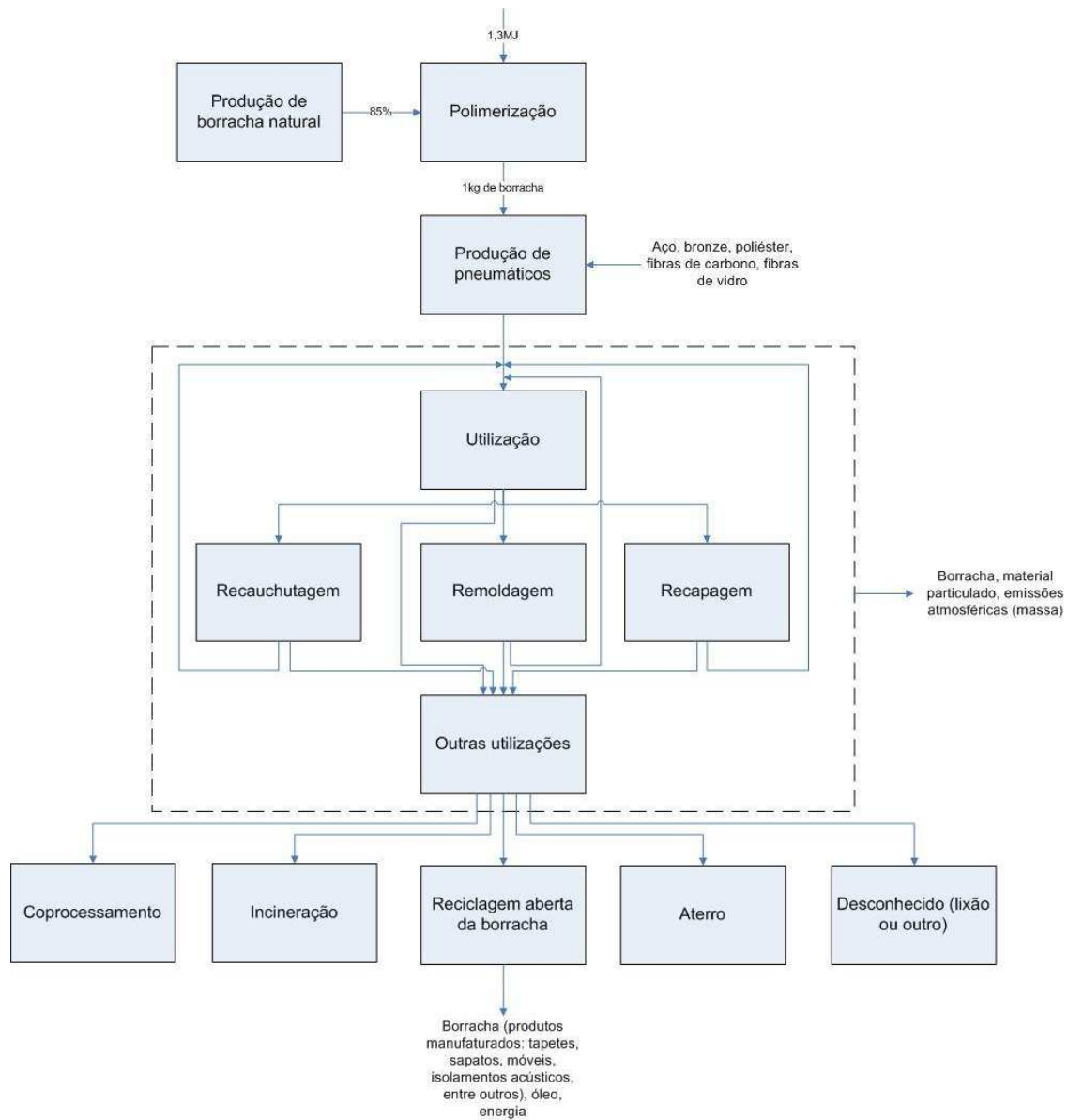


Figura 4.25 - Mapeamento de processos do ciclo de vida de pneus automotivos (adaptado de UGAYA, 2005)

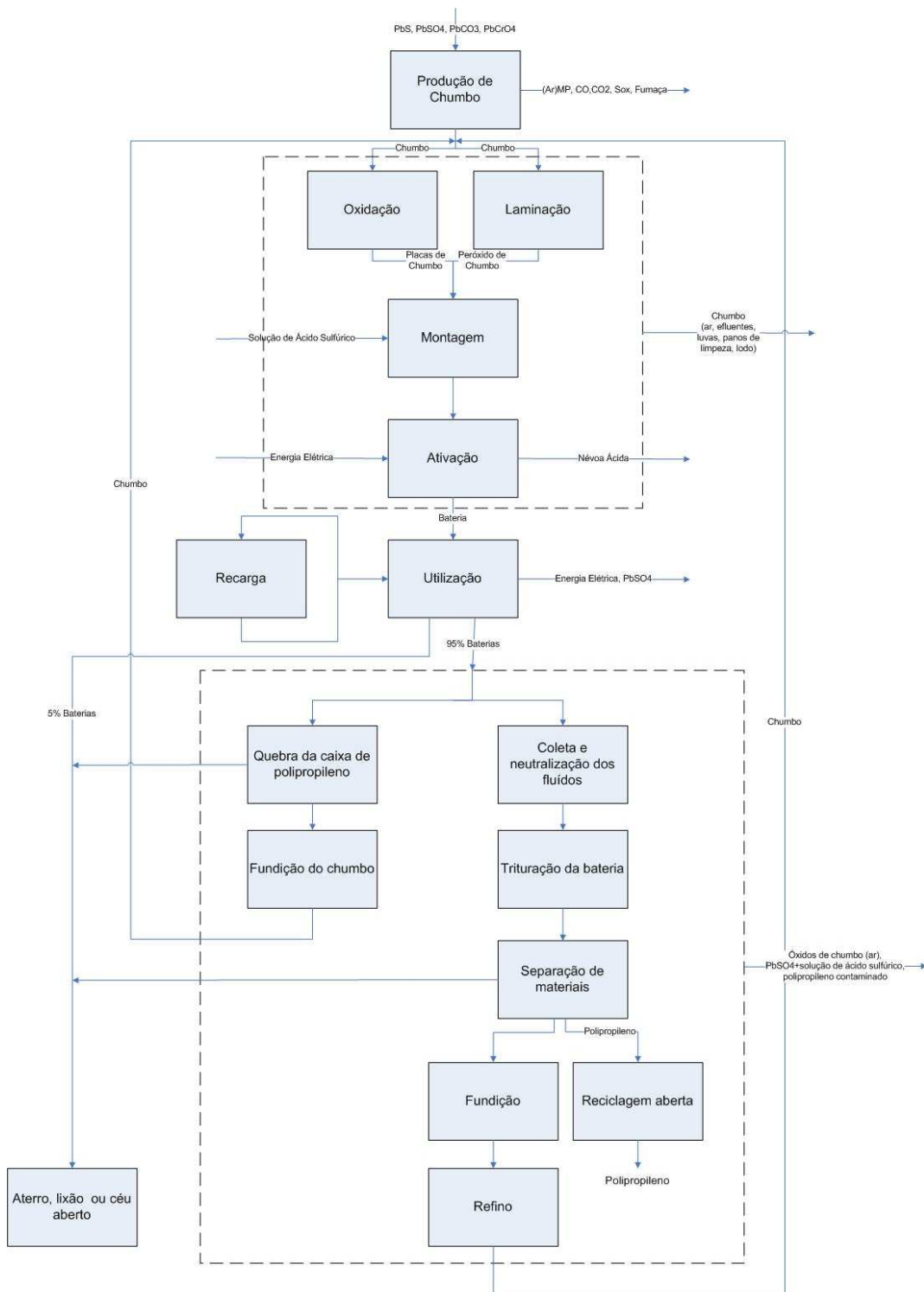


Figura 4.26 - Mapeamento de processos do ciclo de vida de uma bateria de chumbo-ácido automotiva (adaptado de UGAYA, 2005)

#### 4.2.3.1.3 Suposições e limitações

Por se tratar de uma ACV Ambiental Simplificada, e, conforme descrito na seção 3.2.3.3, os Inventários do Ciclo de Vida (ICV) utilizados foram internacionais e alguns nacionais, quando disponíveis. A partir disso, foi utilizada a base de dados do *Ecoinvent*, em virtude desta apresentar a maior quantidade de inventários de ciclos de vida, além de associar os respectivos procedimentos de alocação, categorias e avaliação da qualidade de dados, relacionados ao ano de 2009.

Também foi considerada a matriz de eletricidade do *Ecoinvent BR* (FERREIRA e SILVA, 2009). Quando necessário, a base de dados do *Idemat 2001* também foi utilizada.

Para os métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), foram utilizados, a título de comparação: *Ecoindicator H/H 99*, *EDIP 2003* e *Impact 2002<sup>+</sup>*, em função de permitirem uma classificação por meio de pontuação única e múltiplas categorias de impacto.

#### 4.2.3.1.4 Requisitos da qualidade dos dados

As limitações quanto à coleta de dados estão definidas em:

a) Critério de corte: não foram considerados todos os componentes cujas massas são inferiores a um por cento da massa total do VEC300 (*i.e.* inferiores à 3,16 kg). Um exemplo é a controladora, em que são utilizados componentes como capacitores, dissipadores de calor (compostos de alumínio), *leds*, estanho (solda a base de chumbo). No entanto, tendo em vista que a quantidade do material estaria abaixo do critério de corte, além do que estes dados relacionados não foram fornecidos, considerou-se a controladora como uma placa de circuito impresso de um computador (disponível somente na base de dados do *Idemat 2001*);

b) Área geográfica (escopo geográfico): os dados referentes à fabricação dos componentes de matriz metálica ferrosa e de chumbo assim como o *mix* de eletricidade são nacionais. Os insumos e as tecnologias utilizados são brasileiros. Todos os demais são europeus;

c) Incerteza da informação: há estimativa e emprego de cálculos teóricos na determinação das massas dos componentes. Foram considerados os valores de massa mensurados e apresentados na Figura 4.4. Para as distâncias de transporte, os cálculos são estabelecidos com base em informações dos bancos de dados

nacionais, fornecidas pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte (DNIT), sendo considerado o local da extração da matéria-prima, a loja de revenda do material e entrega na unidade fabril na Cidade Industrial de Curitiba (CIC) no Estado do Paraná. Para os dados de consumo energético (*i.e.* potência do motor, horas de utilização, entre outros), foi estabelecido um cálculo específico, por dia (horas de utilização) e para a unidade funcional estabelecida. Estes dados são oriundos de informações disponíveis na *home page* do fabricante do VEC300 e não consideram as eventuais perdas energéticas durante a utilização do equipamento;

d) Tecnologias cobertas: as destinações finais dos componentes (*e.g.* componentes com chumbo, de matriz metálica ferrosa e pneus), após seu uso, são definidas a partir do mapeamento dos processos e opções de reciclos apresentadas pelas Figuras 4.22 à 4.25 e considerando a desmontagem sistêmica do VEC300 após o descarte;

e) Limitações tecnológicas: o VEC300 é desenvolvido, fabricado e utilizado no Brasil;

f) Outras considerações: o transporte do produto até os usuários é desconsiderado em função da diversidade territorial e do produto não estar disponível em todos os estados brasileiros. No software de ACV, os parâmetros de entrada e saída e os processos de infra-estrutura não foram considerados.

#### **4.2.3.1.5 Obtenção dos dados dos materiais e processos utilizados na manufatura do VEC300**

A Figura 4.27 apresenta os grupos de componentes (classificados de acordo com a Figura 4.3), identificados de acordo com seus respectivos materiais e processos. Todos os dados, com exceção dos pneus, baterias, motor elétrico e chapas “ecotop”, foram informados pelo fabricante do VEC300.

Durante a etapa de coleta de dados dos componentes do VEC300, foram realizadas as atividades de: *i)* identificação do material constituinte; *ii)* identificação do processo de fabricação; e *iii)* identificação e seleção das localidades de onde os materiais utilizados foram extraídos.



Para a determinação dos impactos relacionados ao processo de transporte foi necessária a identificação dos pontos de origem e de destino dos materiais. A partir da extração para os centros de processamento, foi considerado o envio dos componentes das lojas e centros de comercialização para a montagem do produto.

Para simplificar o estudo, considerou-se que todos os materiais dos componentes eram direcionados a um único local para processamento e manufatura, situado na planta industrial do fabricante em um bairro industrial de Curitiba (PR). A partir da aplicação da Equação 01 (descrita no Capítulo 3) a Tabela 4.13 apresenta as principais distâncias relacionadas aos respectivos grupos de componentes.

Tabela 4.13 - Principais distâncias relacionadas aos componentes

<b>Tipo de material e/ou componentes (bens de capital)</b>	<b>Rota aproximada (km)</b>	<b>Massa da carga (kg)</b>	<b>Massa do veículo (kg)</b>	<b>Transporte (tkm)</b>
Ferrosos (Perfis, tubos e chapas de Aço)	1000,00	186,00	0	186,00
Ecotop	410,00	20,00	0	8,20
Pneus e câmaras	430,00	12,00	0	5,16
Baterias de Pb-Ácido (inclui H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , PP e Pb) e motor elétrico (cobre e aço)	476,00	90,00	0	42,84
Outros (PCI, controladora, botoeiras)	408,00	3,00	0	1,22

As massas dos veículos de transporte não foram consideradas devido à ausência de informações a respeito dos veículos utilizados (*i.e.* dados tecnológicos como motorização, consumo e idade da frota).

Os componentes como correntes e correias utilizados na transmissão e os rolamentos não foram incluídos. Os componentes da controladora, *back-light* e botoeiras, foram adquiridos em lojas de eletrônica na cidade de São Paulo. A partir disso, foi considerada a distância de 408 quilômetros até a unidade industrial de manufatura.

Para todos os demais grupos de componentes, foi considerado a aquisição em lojas de Curitiba, porém, considerando a origem das fábricas de extração e beneficiamento. Desta forma, não foi considerado o transporte referente aos ciclos de vida dos componentes.

Para especificar os dados de transporte, da origem dos fabricantes até a unidade industrial do VEC300, foi utilizado o modelo apresentado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2010).

Com isso, assumiu-se que a fábrica de “Ecotop” está situada em Barueri, a de baterias em Campinas, e a de pneus e câmaras em Guarulhos, todas no estado de São Paulo.

Para os materiais ferrosos foi considerada a proveniência do quadrilátero ferrífero, em Minas Gerais. Para os metais não ferrosos, não foi considerado o transporte.

Nas etapas de fabricação, o percentual de massa de cada grupo de componente por processos de corte, furação e usinagem adotado é de 1%. Desta forma, se a massa de um conjunto de componentes for de 38 kg, apenas 380 g estarão relacionados a cada respectivo processo fabril.

O valor de 1% é arbitrário e mostra-se coerente. Se fosse o utilizado o valor de 0,5% ou de 5% os resultados variariam de 190 a 1900 g, denotando que a contribuição seria mínima no resultado final.

Para os dados relacionados ao processo de proteção de superfícies, foram considerados materiais como o zarcão, o esmalte sintético e o epóxi. Não foi considerado o uso de solventes. O setor onde é realizada esta atividade (Figura 4.28) é um espaço de alvenaria, com dois exaustores com motores de potência de 500 Watts cada. Não há estufa para secagem.



Figura 4.28 - Local onde é realizada a proteção de superfícies dos materiais metálicos ferrosos (imagem registrada pelo autor em 09/05/2008)

Não foram considerados os tratamentos de superfícies provenientes dos materiais originais, adquiridos no comércio da região de Curitiba (PR).

Como não foram informados os dados específicos dimensionais e os dados de área depositada, foi estimada a quantidade depositada (em m<sup>2</sup>) a partir da aplicação da Equação 02 (descrita no Capítulo 3). A partir desta equação, as Tabelas 4.14 à 4.19 apresentam a estimativa da área de material depositada para os grupos de componentes: chassi, mecanismo de acionamento e sistema de armazenamento.

Tabela 4.14 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m<sup>2</sup>) para proteção de superfície para o chassi

Grupo de componente	Matriz de material	Dados da quantidade depositada				
		C <sub>ec</sub> (m)	L <sub>ec</sub> (m)	C <sub>ic</sub> (m)	L <sub>ic</sub> (m)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )
01. Chassi Equação : $A_c = (C_{ec} \times L_{ec}) + (C_{ic} \times L_{ic})$	Zarcão	1900x10 <sup>-3</sup>	950x10 <sup>-3</sup>	1800x10 <sup>-3</sup>	850x10 <sup>-3</sup>	275x10 <sup>-3</sup>

A<sub>c</sub>: área do chassi; C<sub>ec</sub>: comprimento externo do chassi; L<sub>ec</sub>: largura externa do chassi; C<sub>ic</sub>: comprimento interno do chassi; L<sub>ic</sub>: largura interna do chassi.

Tabela 4.15 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m<sup>2</sup>) para proteção de superfície para o mecanismo de acionamento

Grupo de componente	Matriz de material	Dados da quantidade depositada			
		C <sub>c</sub> (m)	L <sub>c</sub> (m)	E <sub>c</sub> (m)	A <sub>ma</sub> (m <sup>2</sup> )
04. Mecanismo de acionamento Equação : $A_{ma} = [(C_c \times L_c) \times 2] + [(C_c \times E_c) \times 2]$	Esmalte sintético	1700x10 <sup>-3</sup>	100x10 <sup>-3</sup>	25x10 <sup>-3</sup>	425x10 <sup>-3</sup>

A<sub>ma</sub>: área do mecanismo de acionamento; C<sub>c</sub>: comprimento do cambão; L<sub>c</sub>: largura do cambão; E<sub>c</sub>: espessura do cambão.

O sistema de armazenamento (container), possui duas particularidades relacionadas às chapas e aos arames utilizados. No primeiro caso, a terminologia “chapa” foi utilizada por convenção e também se aplica aos materiais no formato de tubos e cantoneiras. Neste caso, foram desconsideradas as pinturas das cantoneiras e das dobradiças. As dimensões gerais foram baseadas em 1,880 m de comprimento, 0,930 m de largura e 1,610 m de altura (Tabela 4.16).



Tabela 4.16 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m<sup>2</sup>) para proteção de superfície para as chapas do sistema de armazenamento

Grupo de componente	Matriz de material	Dados da quantidade depositada											
		C <sub>che</sub> (m)	L <sub>che</sub> (m)	A <sub>che</sub> (m)	C <sub>chi</sub> (m)	L <sub>chi</sub> (m)	A <sub>chi</sub> (m)	e <sub>ce</sub> (m)	Q <sub>chl</sub>	Q <sub>chs</sub>	A <sub>p<sub>csa</sub></sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>t<sub>csa</sub></sub> (m <sup>2</sup> )	
05. Sistema de armazenamento	Epóxi												
Largura Equação $A_{p_{csa}} = (A_{che} \times L_{che}) - (A_{chi} \times L_{chi})$ $\times Q_{chl} \times Q_{chs}$			930x10 <sup>-3</sup>	1610x10 <sup>-3</sup>		830x10 <sup>-3</sup>	1510x10 <sup>-3</sup>		2	2	976x10 <sup>-3</sup>		
Comprimento Equação $A_{p_{csa}} = (C_{che} \times A_{che}) - (C_{chi} \times A_{chi})$ $\times Q_{chl} \times Q_{chs}$		1880x10 <sup>-3</sup>		1610x10 <sup>-3</sup>	1780x10 <sup>-3</sup>		1510x10 <sup>-3</sup>		2	2	1356x10 <sup>-3</sup>		
Base Equação $A_{p_{csa}} = (C_{che} \times L_{che}) - (C_{chi} \times L_{chi})$ $\times Q_{chl} \times Q_{chs}$		1880x10 <sup>-3</sup>	930x10 <sup>-3</sup>		1780x10 <sup>-3</sup>	830x10 <sup>-3</sup>			2	2	542x10 <sup>-3</sup>		
Chapas estruturais Equação $A_{p_{csa}} = L_{che} \times e_{ce} \times Q_{chl} \times Q_{chs}$			930x10 <sup>-3</sup>					100x10 <sup>-3</sup>	2	2	372x10 <sup>-3</sup>		
$A_{t_{csa}} = \sum A_{p_{csa}}$												3246x10 <sup>-3</sup>	

A<sub>p<sub>csa</sub></sub>: área parcial das chapas do sistema de armazenamento; A<sub>t<sub>csa</sub></sub>: área total das chapas do sistema de armazenamento; C<sub>che</sub>: comprimento externo da chapa; L<sub>che</sub>: largura externa da chapa; A<sub>che</sub>: altura externa da chapa; C<sub>chi</sub>: comprimento interno da chapa; L<sub>chi</sub>: largura interna da chapa; A<sub>chi</sub>: altura interna da chapa; e<sub>ce</sub>: espessuras das chapas estruturais; Q<sub>chl</sub>: quantidade de lados das chapas; Q<sub>chs</sub>: quantidade de superfícies das chapas.

No caso dos arames do sistema de armazenamento, foi considerado que cada um possui o diâmetro de três milímetros, com comprimentos variados, utilização de uma superfície regular (i.e. arames retos) e quantidade de arames e número de lados em que foram aplicados (Tabela 4.17).

Tabela 4.17 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m<sup>2</sup>) para proteção de superfície para os arames do sistema de armazenamento

Grupo de componente	Matriz de material	Dados da quantidade depositada								
		cte	ρ	r <sub>a</sub> (m)	C <sub>a</sub> (m)	Q <sub>a</sub> (m)	N <sub>l</sub> (m)	A <sub>p<sub>asa</sub></sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>t<sub>asa</sub></sub> (m <sup>2</sup> )	
05. Sistema de armazenamento Equação $A_{p_{asa}} = 2 \times \rho \times r \times C_a \times Q_a \times N_l$ considerada área lateral de um cilindro regular: 2prh	Epóxi	2	3,1416	3x10 <sup>-3</sup>	930x10 <sup>-3</sup>	13	2	456x10 <sup>-3</sup>		
		2	3,1416	3x10 <sup>-3</sup>	930x10 <sup>-3</sup>	36	1	631x10 <sup>-3</sup>		
		2	3,1416	3x10 <sup>-3</sup>	1880x10 <sup>-3</sup>	8	2	567x10 <sup>-3</sup>		
		2	3,1416	3x10 <sup>-3</sup>	1880x10 <sup>-3</sup>	18	1	638x10 <sup>-3</sup>		
		2	3,1416	3x10 <sup>-3</sup>	1610x10 <sup>-3</sup>	7	2	425x10 <sup>-3</sup>		
$A_{t_{asa}} = \sum A_{p_{asa}}$									2717x10 <sup>-3</sup>	

A<sub>p<sub>asa</sub></sub>: área parcial dos arames do sistema de armazenamento; A<sub>t<sub>asa</sub></sub>: área total dos arames do sistema de armazenamento; cte: valor constante; ρ: constante matemática; r<sub>a</sub>: raio do arame; C<sub>a</sub>: comprimento do arame; Q<sub>a</sub>: quantidade de arames; N<sub>l</sub>: número de lados.

Para o cálculo de todo o sistema de armazenamento, foram somadas as áreas das chapas e dos arames (Tabela 4.18).

Tabela 4.18 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m<sup>2</sup>) para proteção de superfície para todo o sistema de armazenamento

Grupo de componente	Área da quantidade depositada		
	A <sub>tcsa</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>tasa</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>sa</sub> (m <sup>2</sup> )
05. Sistema de armazenamento	3246x10 <sup>-3</sup>	2717x10 <sup>-3</sup>	5963 x10 <sup>-3</sup>

Equação : A<sub>sa</sub> = A<sub>tcsa</sub> + A<sub>tasa</sub>

A<sub>sa</sub>: área do sistema de armazenamento; A<sub>tcsa</sub>: área total das chapas do sistema de armazenamento;  
 A<sub>tasa</sub>: área total dos arames do sistema de armazenamento.

Com a aplicação da Equação 02 (apresentada no Capítulo 3), a somatória das áreas totais dos três grupos de componentes (i.e. chassi, mecanismo de acionamento e sistema de armazenamento) apresenta a quantidade de material depositado no tratamento de superfícies, cuja área é de 6,663 m<sup>2</sup> (Tabela 4.19).

Tabela 4.19 - Estimativa de quantidade depositada de material (em m<sup>2</sup>) para proteção de superfície total

Grupo de componente	Área da quantidade depositada			
	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>ma</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>sa</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>ts</sub> (m <sup>2</sup> )
01. Chassi 04. Mecanismo de acionamento 05. Sistema de armazenamento	275x10 <sup>-3</sup>	425x10 <sup>-3</sup>	5963x10 <sup>-3</sup>	6663x10 <sup>-3</sup>

Equação : A<sub>ts</sub> = A<sub>c</sub> + A<sub>ma</sub> + A<sub>sa</sub>

A<sub>ts</sub> é a área total da superfície depositada de material; A<sub>c</sub> é a área total do chassi; A<sub>ma</sub> é a área total do mecanismo de acionamento;  
 A<sub>sa</sub> é a área total do sistema de armazenamento; A<sub>sa</sub>: área do sistema de armazenamento.

Nos processos de soldagem, foi utilizada a tecnologia MIG (*Metal Inert Gas*) alimentada por arames. Com base na Equação 03 (descrita no Capítulo 3), foi realizada uma estimativa de uniões em que foram realizados os pontamentos (estimado em dez milímetros para cada pontamento de solda) e os cordões de solda (estimado 50 mm para cada cordão).

O total é estimado em 4,76 metros (476x10<sup>-2</sup>m) para os pontamentos e cordões de solda. A Tabela 4.20 apresenta a estimativa em detalhes para os grupos de componentes do chassi, mecanismo de acionamento e sistema de armazenamento. Não foi considerado o uso de insumos (como arames) no lançamento de materiais no software. Também não foram considerados pontamentos entre os arames.

Tabela 4.20 - Estimativa de quantidade de material depositado na soldagem (em m) por grupo de componente associado

Grupo de componente	Matriz de processo	Soldagem (em m)				
		Equação: $Q_{sol} = (C_{pt} \times N_{pt}) + (C_{cs} \times N_{cs})$				
		$C_{pt}$ (m)	$N_{pt}$	$C_{cs}$ (m)	$N_{cs}$	$Q_{sol}$ (m)
01. Chassi	MIG (ponteamto e cordão de solda)	$1 \times 10^{-2}$	16	$5 \times 10^{-2}$	16	$96 \times 10^{-2}$
04. Mecanismo de acionamento	MIG (ponteamto e cordão de solda)	$1 \times 10^{-2}$	10	$5 \times 10^{-2}$	10	$60 \times 10^{-2}$
05. Sistema de armazenamento	MIG (ponteamto e cordão de solda)	$1 \times 10^{-2}$	220 (80 nas laterais, 68 na base e 72 em outros)	$5 \times 10^{-2}$	20	$320 \times 10^{-2}$

$C_{pt}$ : comprimento de ponteamto;  $N_{pt}$ : número de ponteamtos;  $C_{cs}$ : comprimento do cordão de solda;  $N_{cs}$ : número de cordões de solda;  $Q_{sol}$ : é a quantidade de soldagem.

O consumo foi obtido a partir da aplicação da Equação 04 (descrita no Capítulo 03), com a multiplicação da potência do equipamento pelo tempo de utilização. As etapas de fabricação e os respectivos dados de consumo energético (estimados) estão listados na Tabela 4.21, a qual apresenta a potência de cada equipamento (em W), o tempo de utilização (em horas) e o consumo (em kWh).

Tabela 4.21 - Estimativa de consumo de energia elétrica na etapa de manufatura (em kWh)

Etapas de fabricação	Equipamento	Potência (W)	Tempo de uso (h)	Consumo (kWh)
Corte de chapas, cantoneiras e tubos metálicos	Serra mecânica	250	1	$25 \times 10^{-2}$
	Serra fita	250	1	$25 \times 10^{-2}$
	Policorte	2200	1	$22 \times 10^{-1}$
Corte de chapa ecotop	Serra circular (manual)	1300	1	$13 \times 10^{-1}$
	Serra tico-tico (manual)	400	1	$40 \times 10^{-2}$
Furação	Furadeira de bancada	250	$75 \times 10^{-2}$ (45min)	$19 \times 10^{-2}$
	Furadeira manual	600	$50 \times 10^{-2}$ (30min)	$30 \times 10^{-2}$
Fresamento	Fresa	1500	2	3
Usinagem	Torno universal	1000	2	2
Soldagem	Solda mig	9200	4	$3680 \times 10^{-2}$
Tratamento térmico (têmpera)	Estufa	2000	1	2
Proteção de superfície (epóxi, zarcão e esmalte sintético)	Setor de pintura: Motor de exaustão Compressor de ar	2x500	2	2

Com isso, o consumo total estimado para a fase de manufatura do VEC300 é de 50,69 kWh ( $5069 \times 10^{-2}$  kWh). A iluminação de infra-estrutura da unidade industrial não foi considerada. No entanto, cada etapa de fabricação possui os dados de consumo energético em seu próprio inventário de dados.

Como estes dados não foram informados pelo fabricante, os dados de potência utilizada são baseados nos equipamentos semelhantes existentes nos laboratórios de usinagem, oficina de manutenção mecânica e marcenaria da UTFPR, tais como serra mecânica, serra de fita, torno universal da marca Romi, furadeira de bancada, policorte, serra mecânica, serra circular, fresadora horizontal e equipamento de soldagem MIG.

Para os equipamentos manuais, tais como serra tico-tico e furadeira manual, consultou-se dados de equipamentos convencionais comercializados em lojas de marcenaria.

Para o tempo de fabricação, vários períodos de tempo foram estimados, procurando-se manter uma certa coerência na proporcionalidade para cada etapa fabril. Foi considerado o tempo de *setup* dos equipamentos, montagem de gabaritos para soldagem e montagem, e o tempo para troca de ferramentas, quando necessário.

Para o grupo de componentes que compõe o sistema elétrico, foram considerados os materiais existentes nas baterias, na controladora, no motor e no cabeamento.

Os processos de fabricação destes componentes não foram considerados por dois motivos: *i)* os componentes são comprados prontos das revendas dos fabricantes; *ii)* não ter sido encontrado um processo de fabricação de baterias de chumbo-ácido, como há para baterias na base lítio-polimérica, lítio-íons e de níquel metal-hidruro, nas bases de dados do *Ecoinvent* e do *Idemat 2001*.

Para o motor elétrico e o cabeamento, poderiam ser considerados os processos de extração e extrusão do fio de cobre, estampagem do aço e injeção do policloreto de vinila. Porém, optou-se por não detalhar os processos neste grupo, atendo-se somente ao processo de transporte.

Apesar de não emitir poluentes atmosféricos durante o uso do VEC300, o consumo de eletricidade também gera impactos ambientais durante o uso, o qual pode ser dado pela Equação 05 (apresentada no Capítulo 3).

A partir da duração diária de carga de seis horas das baterias (*i.e.* tempo de recarga), do consumo do carregador de baterias sendo de  $35 \times 10^{-2}$  kWh, fluxo de referência de dez anos e frequência de utilização de 3120 dias (*i.e.* 18720 horas de utilização), tem-se que o consumo de energia elétrica no uso é de 6552 kWh (*i.e.*  $21 \times 10^{-1}$  kWh para um dia). A Tabela 4.22 complementa estas informações.

Tabela 4.22 - Cálculo do consumo de eletricidade do VEC300  
(adaptado de BLEST, 2009)

	em kWh	kW por dia (6h/dia)	kW por mês (26 dias)	kW por ano (312 dias)	kW para 10 anos (3120 dias, 18720 horas)
Consumo do carregador de baterias	$35 \times 10^{-2}$	$21 \times 10^{-1}$	$5460 \times 10^{-2}$	$65520 \times 10^{-2}$	6552
Consumo total para um VEC300 (kWh)	$35 \times 10^{-2}$	$21 \times 10^{-1}$	$5460 \times 10^{-2}$	$65520 \times 10^{-2}$	6552
Despesa com energia elétrica (R\$). Considerando Tarifa de R\$0,35/kWh	$12 \times 10^{-2}$	$74 \times 10^{-2}$	$1911 \times 10^{-2}$	$22932 \times 10^{-2}$	$229320 \times 10^{-2}$

Assim como a unidade funcional pode variar em função da carga transportada apresentar uma variação de acordo com as opções de rota, o consumo energético será variável. No entanto, devido à ausência de informações sobre esta variação durante o uso, este estudo considerou o consumo de energia elétrica utilizada pelo carregador das baterias no cenário pessimista, descrito anteriormente.

Como o projeto do sistema prevê a utilização de energia elétrica proveniente da transformação de energia de biomassa de resíduos orgânicos, os impactos deste consumo tendem a serem neutralizados.

As demais emissões da fase de utilização estão limitadas aos ruídos provenientes do atrito dos componentes e dos pneus com os diferentes pisos, e assemelham-se aos ruídos sonoros dos veículos usuais movidos à propulsão humana. Emissões sólidas, como a geração de resíduos de componentes durante o período de dez anos, foram listadas no fluxo de referência.

O impacto econômico da fase de utilização do VEC300 não foi abordado neste estudo, apesar do consumo ter sido citado na Tabela 4.22.

#### 4.2.3.2 Inserção dos dados no software de ACV

Após o levantamento e organização dos dados do VEC300 foi realizada a inserção dos dados no software *SimaPro*<sup>®</sup> versão 7.1.5, licença PhD, com os dados existentes nos bancos de dados do *Ecoinvent* versão 1.3 (*ecoinvent unit processes* dados europeus, e *ecoinvent unit processes*, dados do Brasil) e do *Idemat 2001*, quando aplicável.

Para cadastrar as informações obtidas durante a coleta de dados, foi realizada uma adaptação entre os materiais e os processos do sistema do produto (Tabelas 4.23 e 4.24). Esta adaptação apresenta a relação entre os dados necessários e os disponíveis no banco de dados.

No caso particular das baterias de chumbo-ácido, os componentes foram classificados separadamente, em função de somente terem sido encontradas baterias utilizadas em eletro-eletrônicos, como as de lítio-polimérico, lítio-íons e níquel metal hidruro.

Tabela 4.23 - Correlação dos materiais utilizados na modelagem do VEC300 no *SimaPro*<sup>®</sup> versão 7.1.5 e banco de dados do *Ecoinvent* versão 1.3 e *Idemat 2001*

Terminologia do fabricante do VEC300	Terminologia Ecoinvent v.1.3 ou IDEMAT 2001
Ácido Sulfúrico	<i>Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U</i>
Aço (liga Fe-C)	<i>Steel converter, low-alloyed, at plant/Brazil</i>
Alumínio	<i>Aluminum, production mix, cast alloy, at plant/RER U</i>
Borracha / Pneus e Câmaras <sup>(1)</sup>	<i>Synthetic rubber at plant/RER U<sup>(1)</sup></i>
Chumbo	<i>Lead, at regional storage/RER U</i>
Cobre (cabos e motor)	<i>Cooper, at regional storage/RER U</i>
Controladora <sup>(1)</sup>	<i>Printed board I/IDEMAT 2001<sup>(1)</sup></i>
Ecotop	<i>Waste paper, mixed, from public collection, for further treatment/RER U<sup>(2)</sup></i>
Epóxi <sup>(2)</sup>	<i>Epoxy resin, liquid, at plant/RER U<sup>(2)</sup></i>
Esmalte sintético <sup>(2)</sup>	<i>Epoxy resin, liquid, at plant/RER U<sup>(2)</sup></i>
Poliétileno (PE)	<i>Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER U</i>
Polipropileno (PP)	<i>Polypropylene, granulate, at plant/RER U</i>
Policloreto de Vinila (PVC)	<i>Polyvinylidenchloride, granulate at plant/RER U</i>
Zarcão <sup>(2)</sup>	<i>Epoxy resin, liquid, at plant/RER U<sup>(2)</sup></i>

<sup>(1)</sup>Materiais selecionados na base de dados, mais próximos aos materiais originais utilizados no produto.

<sup>(2)</sup>Apenas para constar, não foi lançado no software.

Tabela 4.24 - Correlação dos processos de fabricação utilizados na modelagem do VEC300 no *SimaPro*<sup>®</sup> versão 7.1.5 e banco de dados do *Ecoinvent* versão 1.3 e *Idemat* 2001

Terminologia do fabricante do VEC300	Terminologia Ecoinvent v.1.3 ou IDEMAT 2001
Aterro <sup>(1)</sup>	<i>Landfill ou Dummy</i> <sup>(1)</sup>
Conformação mecânica de parafusos (forjamento e rolagem) <sup>(2)</sup>	<i>Hot rolling, steel/RER U</i> <sup>(2)</sup>
Corte (serra circular e serra tico-tico) <sup>(1)</sup>	<i>Milling, steel, small parts/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Corte (laser) <sup>(1)</sup>	<i>Milling, steel, small parts/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Corte (serra mecânica, serra fita e policorte) <sup>(1)</sup>	<i>Milling, steel, small parts/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Dobradura (calandra) <sup>(2)</sup>	<i>Turning, steel, conventional, average/RER U</i> <sup>(2)</sup>
Trituração de embalagens de creme dental/bisnagas de pastas de dente (chapa Ecotop) <sup>(1)</sup>	<i>Recycling mixed polymer I/IDEMAT 2001</i> <sup>(1)</sup>
Eletricidade proveniente da matriz brasileira	<i>Electricity, low voltage, production BR, at grid/BR U</i>
Eletricidade proveniente de biodigestores a partir de resíduos orgânicos <sup>(1)</sup>	<i>Electricity, biowaste, at waste incineration plant, future, alloc. Price/CH U</i>
Estampagem de Al <sup>(2)</sup>	<i>Section bar extrusion, aluminium/RER U</i> <sup>(2)</sup>
Extrusão de polímeros <sup>(2)</sup>	<i>Extrusion, plastic pipes/RER U</i> <sup>(2)</sup>
Furação (fresa, broca): furadeira de bancada <sup>(1)</sup>	<i>Drilling, conventional, steel/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Furação (broca): furadeira manual <sup>(1)</sup>	<i>Drilling, conventional, steel/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Geração de energia elétrica para consumo durante o uso	<i>Electricity, hidropower, at reservoir power plant, non alpines/RER U</i>
Injeção elastômero <sup>(1)</sup>	<i>Injection moulding /RER U (para polimeros)</i> <sup>(1)</sup>
Lubrificação (pratos) <sup>(2)</sup>	<i>Lubricating oil, at plant/RER U</i> <sup>(2)</sup>
Pintura (epóxi preta) <sup>(1)</sup>	<i>Enamelling/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Pintura (esmalte sintético) <sup>(1)</sup>	<i>Enamelling/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Pintura (zarcão) <sup>(1)</sup>	<i>Enamelling/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Rebitagem (a ar) <sup>(2)</sup>	- <sup>(2)</sup>
Soldagem (MIG)	<i>Welding, arc, steel/RER U</i>
Termoformagem (prensagem a quente das chapas de Ecotop) <sup>(1)</sup>	<i>Thermoforming, with calendering/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Transporte (por estrada)	<i>Transport, lorry &gt; 16t, fleet average/RER U</i>
Transporte (dentro da cidade) <sup>(1)</sup>	<i>Transport, Van &lt; 3,5t/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Tratamento térmico (têmpera) <sup>(1)</sup>	<i>Heat treatment, hot impact extrusion, steel/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Trefilação de Aço (liga Fe-C)	<i>Wire drawing, steel/RER U</i>
Trefilação de Cobre	<i>Wire drawing, cooper/RER U</i>
Usinagem Aço (torno) <sup>(1)</sup>	<i>Steel product manufacturing, average metal working/RER U</i> <sup>(1)</sup>
Usinagem Aço (fresadora) <sup>(1)</sup>	<i>Steel product manufacturing, average metal working/RER U</i> <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Processos cujos correspondentes diretos na base de dados do *Ecoinvent* v 1.3 ou *Idemat* 2001 não foram encontrados, sendo selecionados os mais apropriados aos processos originais utilizados no VEC300.

<sup>(2)</sup>Apenas para constar, não foi lançado no software.

## 4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.3.1 Seleção de Materiais

Caso a declaração de substâncias do VEC300 fosse realizada na plataforma MDS, a seleção de materiais incentivaria o acesso às substâncias menos nocivas e tóxicas nos componentes do veículo. Isso poderia tornar pioneira a declaração de substâncias nocivas em veículos elétricos para transporte de cargas, tanto os não tripulados movidos a puxão, quanto os tripulados.

Os aspectos para a desmontagem poderiam contribuir tanto para o final de vida do VEC300 como para os casos de serviços de reparo e manutenção. Para atender a isso, metodologias como o Projeto para a Desmontagem (*Design for Disassembly*, DfD) e Projeto para Serviços (*Design for Service*) podem ser aplicadas, fazendo uso da medição do acesso à função.

A disponibilização de procedimentos específicos e de serviços de apoio para o uso e o descarte das baterias, pode ser um diferencial para o fabricante, juntamente com a medição da matriz de riscos tóxicos.

Os procedimentos para a reciclagem dos componentes podem ser traçados e disponibilizados aos usuários por meio da identificação das etapas do final de vida claramente definidas. Em geral, o fabricante pode disponibilizar uma lista de locais que coletam e reciclam os componentes. No caso da responsabilidade de coleta ser do fabricante, este deve ter traçado o mapa do final de vida do VEC300.

### 4.3.2 Reciclabilidade

A taxa de reciclagem do VEC300 pode chegar aos 100% se for considerado o reciclo do chumbo, polipropileno e tratamento do ácido sulfúrico (proveniente das baterias), dos elastômeros (proveniente dos pneus e câmaras), dos metais ferrosos (provenientes do chassi, sistema de armazenamento, sistema de transmissão, carcaça do motor elétrico, rodas, parafusos e haste de comando), dos metais não ferrosos (motor, fiações e componentes internos da controladora, rebites e calota) e de outros materiais (chapas “Ecotop” e plásticos do cabeamento).

Alguns destes cenários estão descritos na definição do sistema de produto na ACV Ambiental Simplificada.

Todavia, o tempo de acesso à função é afetado por aspectos de desmontagem, não necessariamente endereçados pelos projetistas. Isso compromete o tempo de



desmontagem, pelo nível de dificuldade de separar a carenagem (chapas de *ecotop*) do chassi (tubos e chapas metálicas), em que são fixadas por rebites.

No entanto, a taxa de reciclabilidade do VEC300 pode ser aumentada, considerando a utilização de materiais provenientes do reciclo fechado, ou seja, da reinserção destes na produção de novos veículos.

No Brasil, ainda não existe um macroprocesso de reciclagem de veículos (LAZZARI e MONICH, 2008 e LAZZARI e UGAYA, 2009). Todavia, de acordo com Marques e Alves (2009), isso não deve diminuir a responsabilidade do desenvolvimento de produtos que possuam viabilidade técnica para tal.

Mesmo que um veículo possua uma alta taxa de reciclabilidade, ou seja, possua peças recicláveis, a reciclagem só ocorrerá efetivamente quando existir viabilidade técnica e econômica para que se estabeleça um empreendimento. Esta viabilidade depende de uma análise complementar da taxa de reciclabilidade, detalhada principalmente em função de toda uma cadeia industrial que permita e esteja apta a inserir os produtos manufaturados em seus ciclos produtivos. Isso depende da infra-estrutura técnica e qualificada das indústrias de reciclagem para atender a demanda de fornecimento à cadeia automotiva. Para que isto aconteça, é necessário estabelecer uma cadeia de recicladores disposta a receber as peças em fim de vida dos veículos, para recuperar os materiais contidos via reciclagem (MARQUES e ALVES, 2009).

A partir da taxa de reciclabilidade de 100% do VEC300, torna-se evidente o potencial de reciclagem do mesmo, considerando os cenários de reciclo aberto e fechado no Brasil, apresentado pelo mapeamento de processo (Figuras 4.24, 4.25 e 4.26) e comprovado por Licco (2000) para a utilização de baterias secundárias de chumbo-ácido.

A taxa de reciclabilidade pode não alcançar os 100%, caso componentes que possuam as chapas como o “*Ecotop*” não possam ser reciclados em final de vida. Todavia, considerando que os fornecedores de todos os grupos de componentes possuem e estimulam processos de reciclagem de seus produtos, a taxa mostra sua coerência adequada com os sistemas de produtos delimitados.

### 4.3.3 ACV ambiental simplificada

Com os modelos de avaliação de impactos ambientais, a análise dos resultados de uma ACV é feita a partir dos gráficos gerados. Após o lançamento dos dados de cada componente, é realizada a simulação a partir da definição da fase do ciclo de vida, do método de avaliação e da solicitação de processamento. Para cada grupo de componente podem ser feitas várias simulações com diferentes métodos.

O sistema modelado para o VEC300 é apresentado na forma de rede (Figura 4.29), com um corte de 1% na visualização utilizando o método *Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H*, com a identificação dos processos mais impactantes para cada componente.

Foi considerada a utilização do VEC300 em 3120 dias (dez anos) com a eletricidade de baixa tensão proveniente de hidroelétrica brasileira (*Electricity, low voltage, production BR, at grid/BR U*), porém com os dados de fluxo de referência para um veículo.

Na fase de montagem, os processos mais impactantes são os usinagem (*i.e.* consumo de eletricidade), de produção da matriz metálica ferrosa, de produção do cobre utilizado no motor elétrico e da placa de circuito impresso considerada (utilizada na controladora). A particularidade da controladora, resta a utilização de chumbo nos processos de soldagem.

Na fase de utilização, o processo de geração de energia elétrica a ser consumida durante o uso do VEC300 é impactante, porém, menor que na fase de produção.

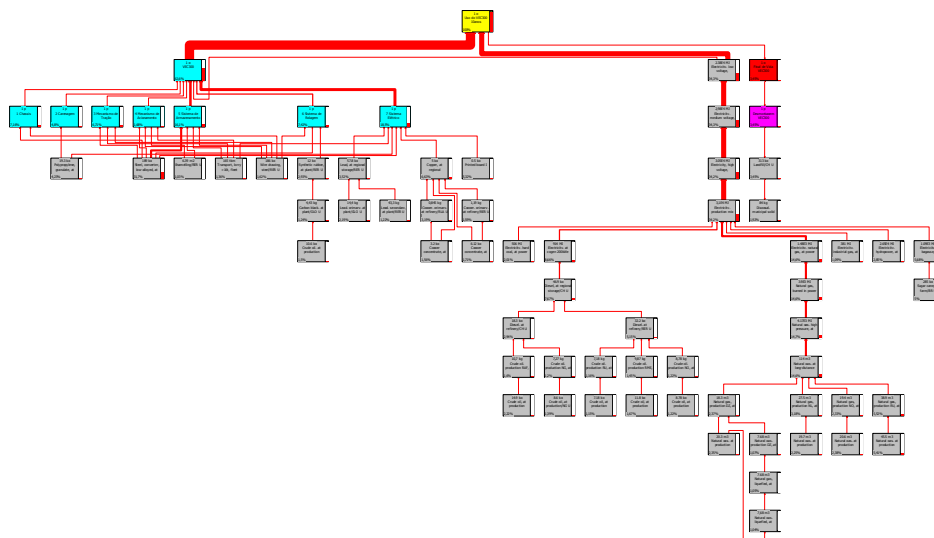


Figura 4.29 - Rede de contribuição dos impactos ambientais associados ao ciclo de vida do VEC300, para o período de dez anos, método *Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 (H/H)*, visualização corte de 1%

As Figuras 4.30, 4.31 e 4.32, apresentam a comparação dos impactos ambientais nas fases de montagem, utilização e final de vida do VEC300. Em cada uma são apresentadas as quantidades de cada impacto, relacionadas ao método específico de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV), ou seja, *Eco-Indicator 99*, *EDIP 2003* e *Impact2002+*.

Na Figura 4.30, por meio da aplicação do método *Eco-Indicator 99*, o consumo de combustíveis fósseis e minerais, seguidos pelos respiratórios inorgânicos e ecotoxicidade são os impactos ambientais mais penalizantes. Na fase de utilização, além dos combustíveis fósseis, uso da terra, mudanças climáticas, respiratórios inorgânicos e cancerígenos denotam maior significância. Na fase de final de vida, os cancerígenos e a ecotoxicidade ilustram maiores proporções.

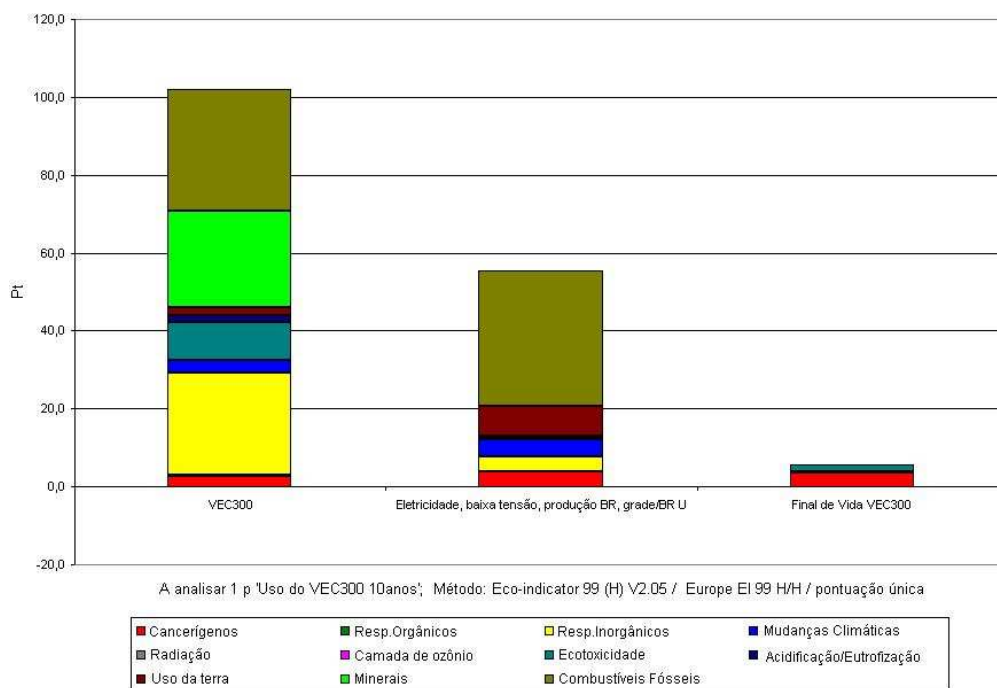


Figura 4.30 - Comparação das fases de montagem, utilização e descarte: método *Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H*, pontuação única

Na Figura 4.31, com a aplicação do método *EDIP 2003*, a toxicidade humana nos meios aquático, terrestre e aéreo é o impacto mais significativo nas três fases do ciclo de vida. Com o método *Impact 2002+*, a Figura 4.32 indica que a fase de final de vida tem impactos próximos a zero. Nas fases de montagem e utilização, o uso de energia não renovável, o aquecimento global, os respiratórios inorgânicos e a ecotoxicidade terrestre indicam grandes proporções.

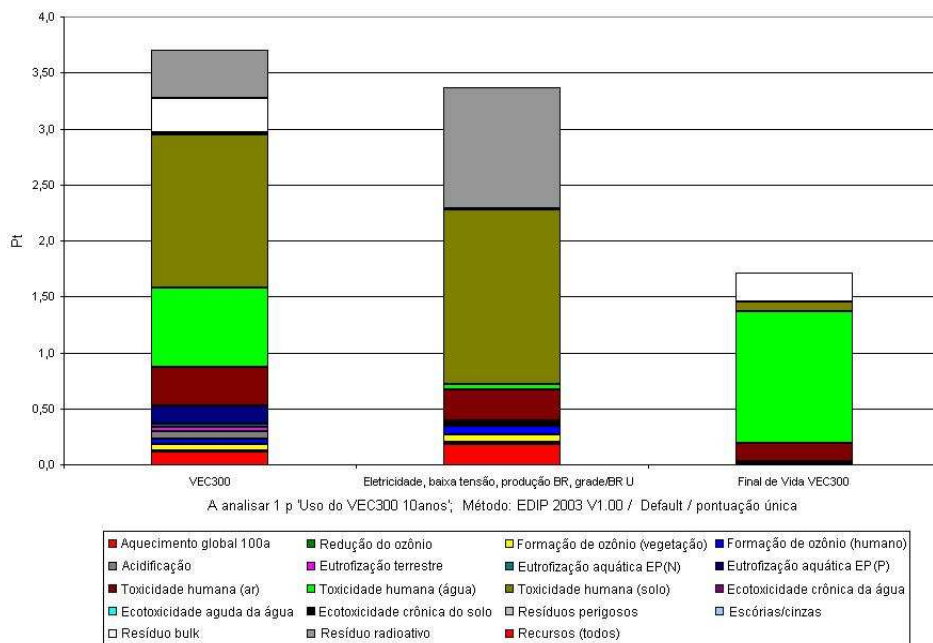


Figura 4.31 - Comparação das fases de montagem, utilização e descarte: método *EDIP 2003*, pontuação única

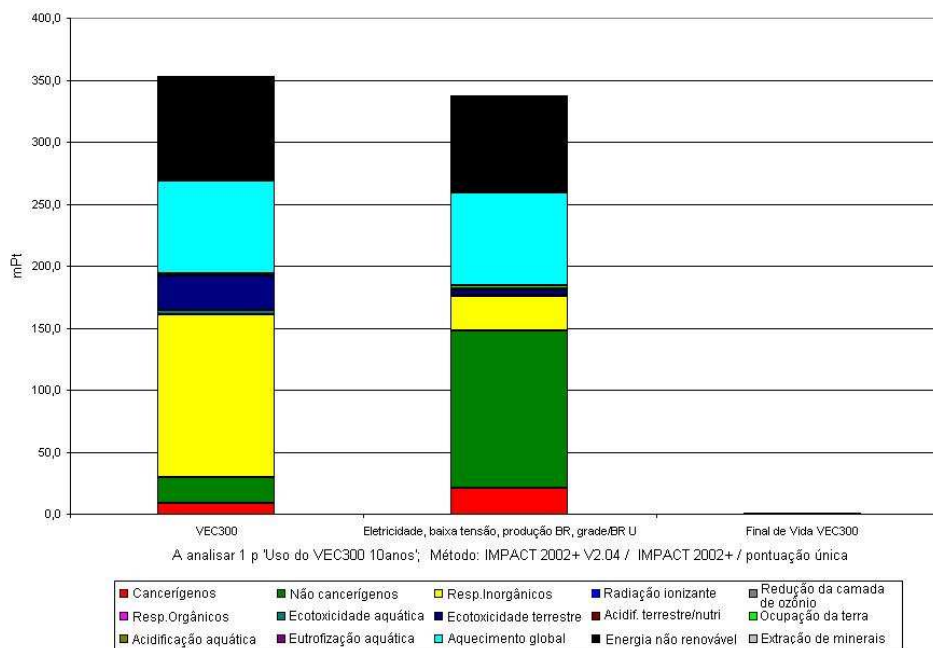


Figura 4.32 - Comparação das fases de montagem, utilização e descarte: método *Impact2002+*, pontuação única

Especificamente para a fase de montagem, os impactos ambientais de cada componente estão identificados pelas Figuras 4.33 a 4.37, com a aplicação do método *Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H*.

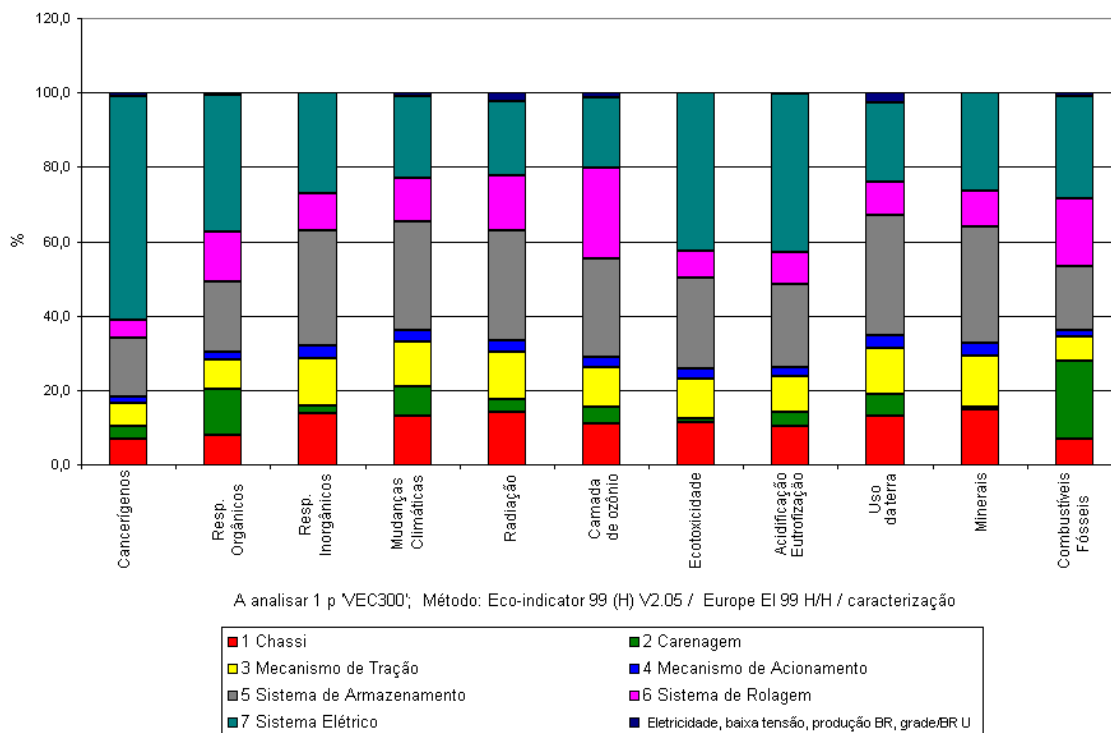


Figura 4.33 - Comparação dos componentes, método *Eco-Indicador 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H, caracterização*

Na Figura 4.33, por meio da modalidade de caracterização, percebe-se que os impactos mais significativos provêm dos sistemas elétrico (em verde musgo) e de armazenamento (em cinza). Enquanto o primeiro possui cobre, chumbo e ácido sulfúrico em sua composição, o segundo possui a uma expressiva quantidade de material metálico ferroso, uma vez que esta representa aproximadamente a metade da massa de material ferroso do VEC300.

Por categoria de impacto, dos 11, em pelo menos nove (*i.e.* cancerígenos, respiratório orgânicos, respiratório inorgânicos, trocas climáticas, ecotoxicidade, acidificação e eutrofização, uso do solo e minerais), estes dois grupos de componentes são os mais impactantes. A exceção fica nos impactos de radiação e camada de ozônio, em que os maiores impactos são provenientes do sistema de armazenamento em conjunto com o sistema de rolagem, em função dos processos que envolvem os componentes pneumáticos.

Na Figura 4.34, com a aplicação da modalidade de normalização, os impactos mais expressivos para todos os componentes do VEC300 estão relacionados ao uso de combustíveis fósseis, minerais e respiratórios inorgânicos. No caso dos dois

primeiros, os impactos estão baseados na escassez de recursos, principalmente pelo veículo possuir uma matriz de material essencialmente ferrosa.

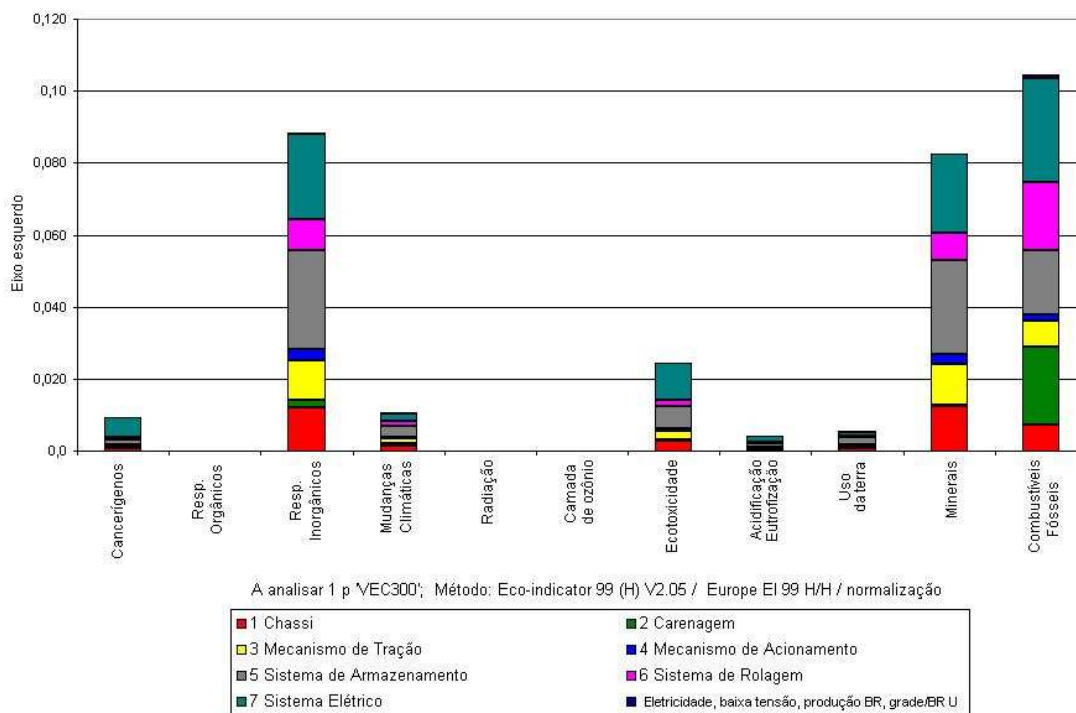


Figura 4.34 - Comparação dos componentes, método *Eco-Indicador 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H, normalização*

Da mesma forma, na Figura 4.35, com a aplicação da modalidade de ponderação (*i.e.* os resultados são afetados pela média de pesos atribuída por especialistas individualistas, hierarquistas e igualitários, para cada categoria de impacto), os impactos mais expressivos para todos os componentes do VEC300 também estão relacionados ao uso de combustíveis fósseis, consumo de minerais e respiratórios inorgânicos.

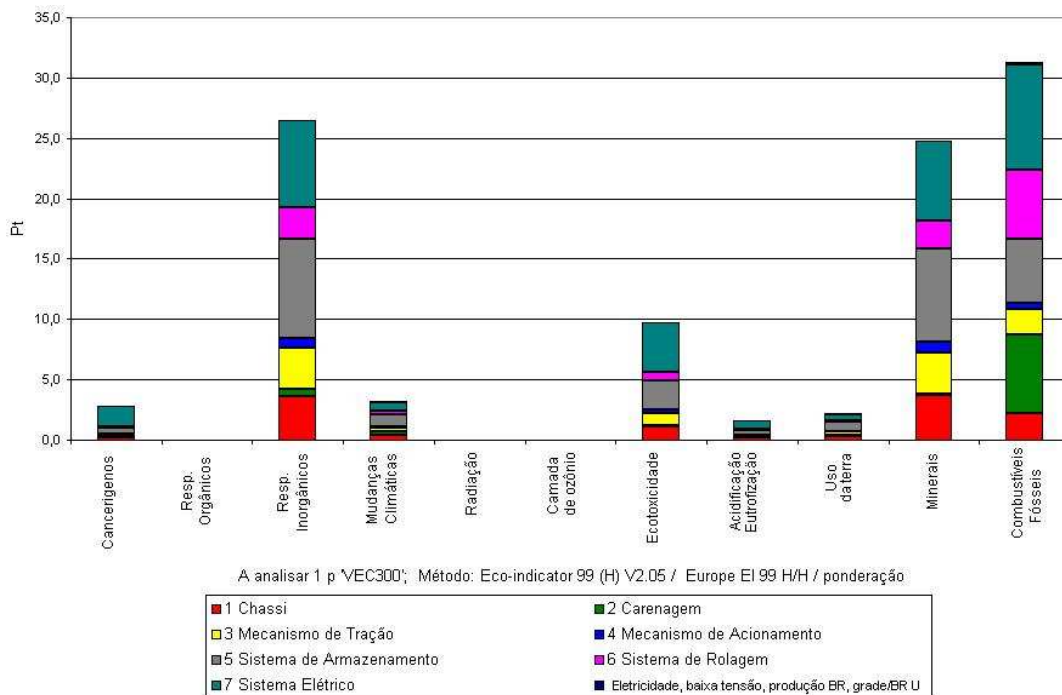


Figura 4.35 - Comparação dos componentes, método *Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H, ponderação*

Quando aplicada a pontuação única (Figura 4.36), o consumo de minerais torna-se o impacto mais evidente em todos os grupos de componentes, incluindo a carenagem, pela baixa quantidade de alumínio presente. Notadamente, o sistema de armazenamento e elétrico são os mais impactantes, seguidos do sistema de rolagem, chassi, mecanismo de tração, carenagem e mecanismo de acionamento.

No entanto, considerando a retirada do componente integrante do sistema elétrico, para o qual adaptou-se uma placa de circuito impresso encontrada na base de dados do *Idemat 2001* (i.e. a retirada da controladora), a Figura 4.37 apresenta um maior impacto no sistema de armazenamento (matriz ferrosa), seguido pelo sistema elétrico e todos os demais.



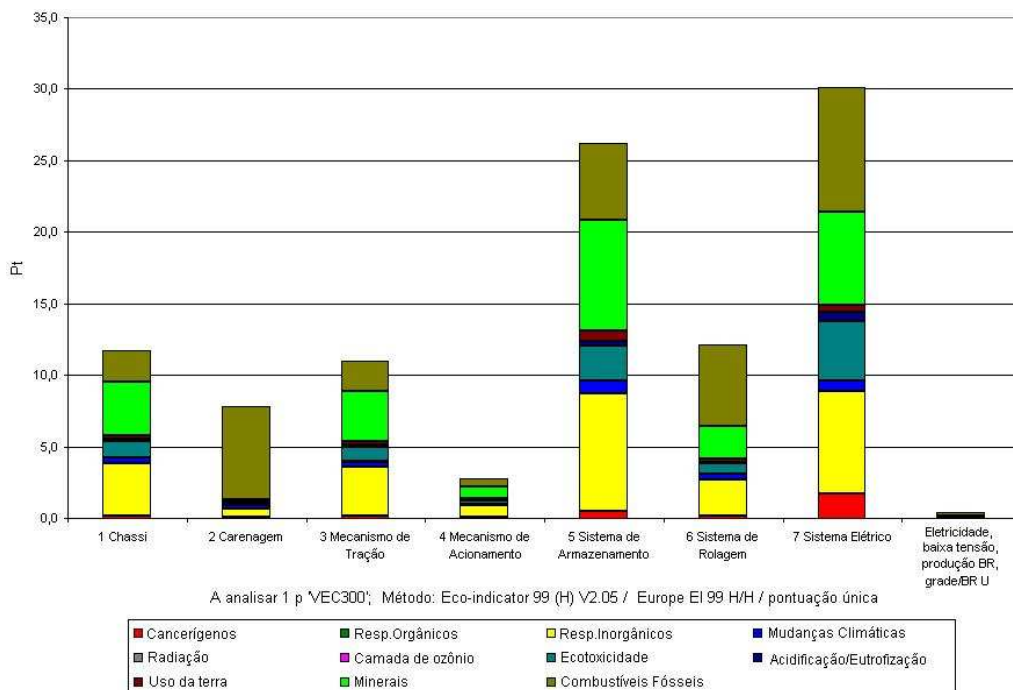


Figura 4.36 - Comparação dos componentes, método *Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H*, pontuação única

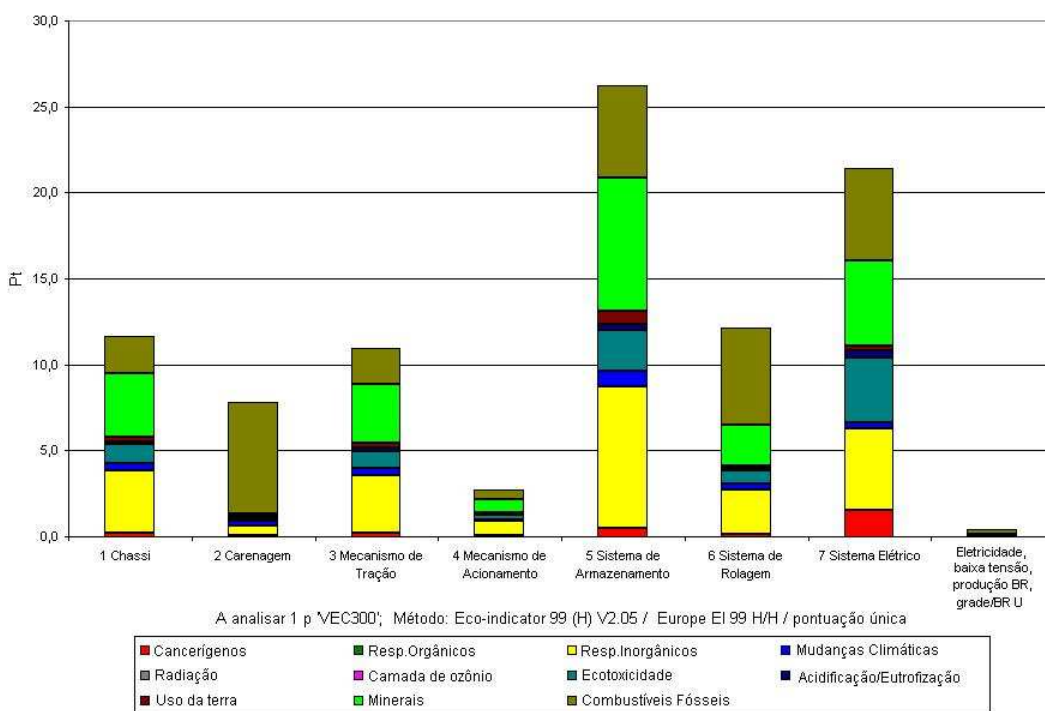


Figura 4.37 - Comparação dos componentes sem controladora (PCI), método *Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H*, pontuação única

Ainda com a aplicação do método *Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H*, porém na fase de utilização, foi conduzida uma avaliação considerando a

eletricidade proveniente de biodigestores (Figura 4.38), existente na base de dados do *Ecoinvent* (*Electricity, biowaste, at waste incineration plant, future, alloc. Price/CH U*).

Com esta aplicação, de acordo com a respectiva base de dados abordada, a fase de utilização é a mais impactante, representada pelos impactos cancerígenos, combustíveis fósseis e respiratórios inorgânicos.

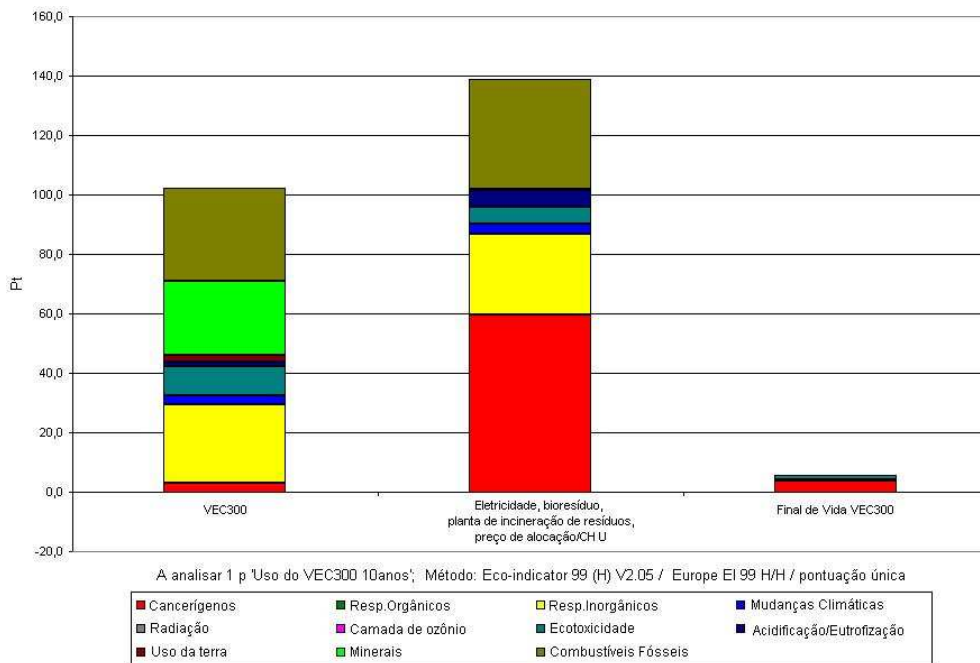


Figura 4.38 - Comparação das fases de montagem, utilização e descarte: método *Eco-Indicator 99 (H) V.2.05 Europe EI 99 H/H*, pontuação única, com energia proveniente de biodigestores

Assim, com base nos gráficos gerados pelo software de ACV, foi constatado que os maiores impactos ambientais são provenientes do consumo de materiais de origem mineral (nos processos de extração de cobre) e nos processos que envolvem a utilização de combustíveis fósseis.

A utilização de eletricidade, proveniente da matriz elétrica brasileira, durante as etapas de recarga das baterias do VEC300 causa menor impacto do que a fabricação dos componentes. Os impactos ambientais de combustíveis fósseis, uso de minerais, respiratórios inorgânicos e índices de toxicidade humana foram os mais significativos, considerando as análises de pontuação única.

#### 4.3.4 Projeto para o meio ambiente

Para incentivar as determinações administrativas que são, em geral, de ordem estratégica, a aplicação de metodologias de desenvolvimento de produto que envolvem o projeto para o meio ambiente (apresentadas na seção 2.6) tornam possível a implementação de melhorias na fase de projeto.

Com os indicadores transformados em categorias de impactos ambientais, os projetistas podem interagir na melhoria do veículo atual ou em um novo produto a partir da aplicação de uma metodologia como a norma de gestão ambiental ABNT NBR ISO TR 14062 (2004).

No caso da adoção das sugestões de melhorias, estas podem se tornar efetivas por meio das seis fases do processo de desenvolvimento de produto: planejamento, projeto conceitual, projeto detalhado, construção do protótipo e testes, manufatura e revisão do produto (Figura 4.39).

Na fase de planejamento as ações envolvem questões estratégicas do projeto tais como o alinhamento da estratégia da organização, com a inserção de requisitos ambientais (internos e externos), a análise ambiental de um produto de referência e a inserção do pensamento do ciclo de vida em todas as fases do desenvolvimento de produto.

No caso do projeto estar incluído na Plataforma de Energias Renováveis, são considerados os princípios de economia solidária bem como as características de cooperação, auto-gestão, dimensão econômica e solidariedade, todas apoiadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego do Governo Brasileiro.

Na fase de projeto conceitual podem ser aplicadas ferramentas como o levantamento de estado da arte, *benchmarking*, matriz morfológica, matriz de avaliação relativa e aplicação do QFDE (*Quality Function Deployment for Environment*).

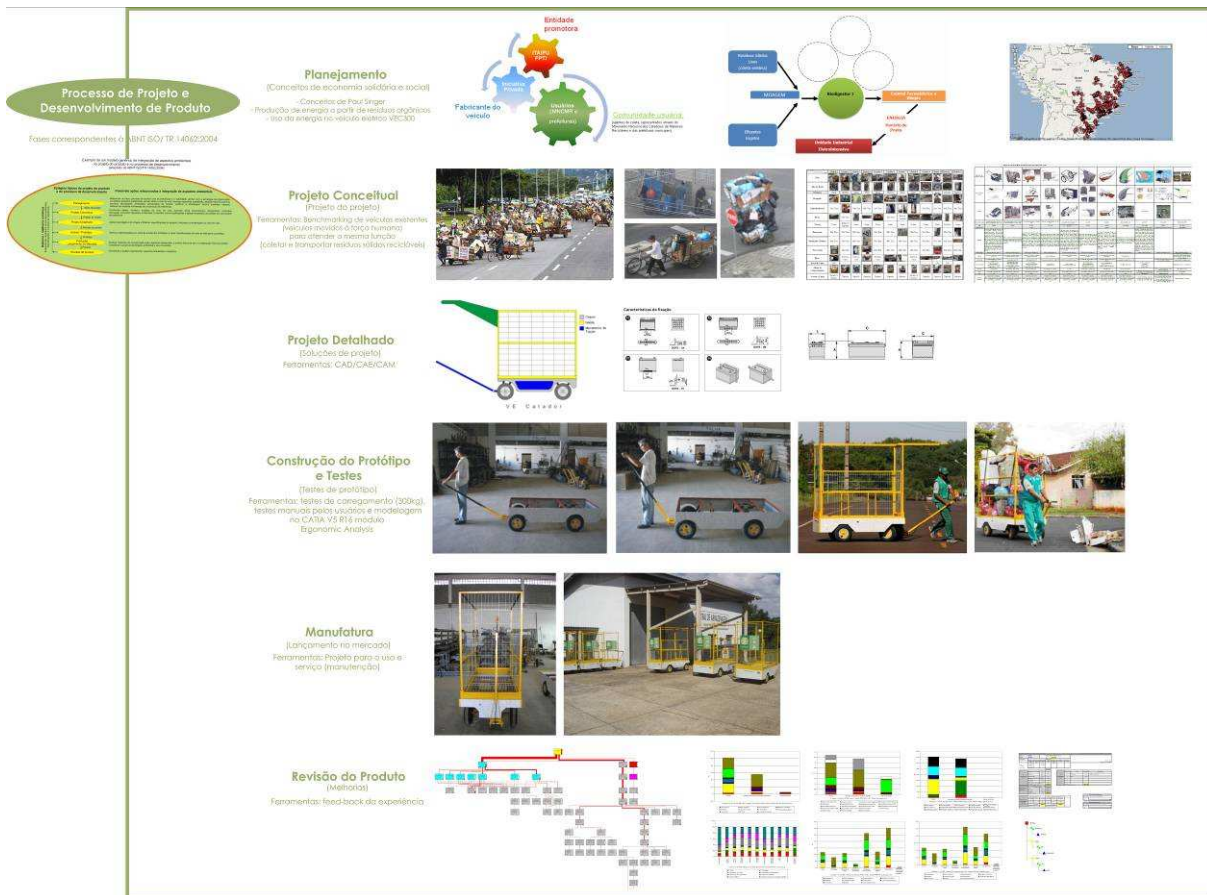


Figura 4.39 - Etapas de desenvolvimento de produto em que os aspectos ambientais podem ser implementados com aplicação da norma de ecodesign (ABNT ISO TR 14062, 2004)

Na fase de projeto detalhado, a especificação de projeto do produto pode ser complementada com a utilização das metodologias de Análise de Valor (abordagem econômica) e FMEA (*Failure and Mode Effect Analysis*) de produto. Em ambas, é possível incorporar aspectos considerados ambientais como a utilização de materiais reciclados (*i.e.* provenientes de processos de reciclagem aberta ou fechada), materiais recicláveis (*i.e.* passíveis de passarem por processos de reciclagem aberta ou fechada no final de vida), materiais biodegradáveis (*i.e.* materiais que são capazes de se decompor sem afetar toxicamente o meio) e materiais livres de metais pesados e substâncias nocivas à saúde humana, animais e ecossistema.

Para a fase de manufatura, em todas as etapas de construção devem ser mensuradas as emissões (sólidas, líquidas e gasosas), a definição da matriz energética e seu respectivo consumo, o grau de toxicidade relacionado aos insumos e à periculosidade dos processos.

Além disso, metodologias como o Projeto para Manufatura e Montagem (*Design for Manufacturing and Assembly*, DfMA) e os conceitos apresentados por Bralla (1999), podem ser aplicados a fim de permitir uma redução no tempo de fabricação, otimização na logística e facilidades de operação. A Figura 4.40 ilustra um exemplo bem sucedido do sistema de armazenamento do VEC300, no qual os containeres são transportados desmontados e montados nas instalações dos usuários, com facilidade e agilidade.



(a) encaixes com hastes móveis para facilitar a montagem/desmontagem



(b) dobradiça a fim de facilitar o acesso ao conteúdo do container



(c) modularidade das bases para diminuir custos logísticos

Figura 4.40 - Sistema de armazenamento (imagens registradas pelo autor nas instalações da planta industrial de montagem do VEC300 em 17/04/2009)

Um outro exemplo é a facilidade apresentada na hora de troca de pneus. Os projetistas do VEC300, consideraram a utilização de chaves combinadas simples e de baixo custo, a fim de facilitar o acesso às rodas e pneus (Figura 4.41).



Figura 4.41 - Acesso às rodas: facilidade na troca de câmara de ar do pneu inflável (imagens registradas pelo autor em 22/02/2010 nas instalações do Parque Tecnológico Itaipu)

Aplicar metodologias como Projeto para a Desmontagem (*Design for Disassembly, DfD*) e Projeto para a Reciclagem (*Design for Recycling, DfR*) podem incluir a definição do volume do componente e tempos de desmontagem, em que é possível definir os custos de homem-hora por componente desmontado, e acesso à função de metais pesados ou substâncias perigosas, que devem ser separados (*i.e.* projeto para a desmontagem em vias de facilitar a separação de componentes de diferentes materiais).

Além disso, devem constar a facilidade de acesso aos processos de reciclagem mecânica seca (*i.e.* trituradores convencionais), reciclagem via hidrometalúrgica (*i.e.* facilidade de separação de componentes em processos físico-químicos) e via pirometalúrgica (*i.e.* fusão de materiais).

No caso do grupo da carenagem, apesar das vantagens já citadas da aplicação das chapas “Ecotop”, as limitações estão relacionadas à resistência ao desgaste e à forma de fixação ao chassi (Figura 4.42). No primeiro caso, é estimada uma duração de não mais que três anos em uso contínuo. No segundo, as chapas são fixadas por rebites, o que torna laborioso a desmontagem, por ser necessário o uso de equipamentos como furadeiras manuais e brocas.

Na fase de construção de protótipos e testes, as ações provenientes do projeto detalhado são: a respectiva efetividade no que tange o detalhamento de acesso à função; a aplicação dos materiais escolhidos e a facilidade e limitações de emprego destes; e a disponibilidade de recursos para manufatura (*i.e.* insumos, equipamentos, tecnologias, qualificação de mão-de-obra).





(a) desgaste com uso estimado de três anos



(b) fixação por meio de rebites entre dois grupos de materiais diferentes, com aumento do tempo para desmontagem

Figura 4.42 - Chapas “Ecotop” após início da utilização (imagens registradas pelo autor em 22/02/2010 nas instalações do Parque Tecnológico Itaipu)

Na fase de revisão do produto são inseridas as informações de melhorias e de ações que podem ser realizadas nas demais fases do ciclo de vida do produto. É a fase que retro-alimenta as informações no projeto do produto e tem papel decisivo na indicação das ações necessárias.

#### 4.4 DISCUSSÃO

Em função dos resultados apresentados e da proposta deste trabalho acadêmico, algumas reflexões tornam-se pertinentes e oportunas, a fim de ilustrar a importância dos conceitos de ecodesign no processo de desenvolvimento de produtos, com a inserção dos aspectos ambientais.

A partir dos impactos mais significativos, tem-se que a escassez de recursos é um dos mais penalizantes, a partir do consumo de minerais. Graedel e Allenby (2003) abordam este tema, não se limitando à escassez de materiais, porém abordando a escassez energética e de outros recursos (e.g. água potável).

Considerando que a matriz de material do VEC300 é essencialmente composta de metais ferrosos, seguida por metais pesados, polímeros, metais não ferrosos e elastômeros (pneumáticos), apresenta-se um cenário de oportunidade para incentivar o reciclo de todos estes materiais. Com a estimativa da taxa de reciclabilidade do VEC300 em 100%, isso pode representar uma reinserção dos materiais nas cadeias produtivas de cada grupo de componentes, após terem sido sistematicamente desmontados.

No caso das baterias, a partir do correto armazenamento, da coleta e do transporte, estas devem ser encaminhadas para recicladores apropriados de

chumbo. No caso das carcaças (caixas) de polipropileno, estas podem ser inseridas em processos de reciclo aberto, sendo destinadas para outras aplicações, ou em reciclo fechado na matriz de injeção de novas carcaças. O ácido sulfúrico é tratado e a bateria tem enfim seu ciclo fechado.

Além da inexistência do chumbo em território brasileiro, sendo necessária a importação deste recurso, a reciclagem não é apenas incentivada como obrigatória, utilizando-se de leis federais regidas pela resolução número 401 de 2008 do Código Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Além da escassez em território brasileiro, a disponibilidade do chumbo está limitada a nível mundial. Todavia, como na relação custo *versus* eficiência ainda prevalece a primeira, esta tecnologia é dominante em praticamente todos os continentes (LICCO, 2000).

No caso da matriz metálica ferrosa e não ferrosa, felizmente o Brasil tem um bom cenário de reciclagem destes materiais, sobretudo em função dos resíduos industriais gerados. Todavia, apesar do baixo valor econômico (cerca de R\$ 300,00 a tonelada de sucata ferrosa), as plantas de compactação, trituração e reprocessamento (metalurgia e siderurgia), funcionam em grande escala e podem atender a demanda nacional de reciclagem metálica.

Já para materiais como os pneumáticos, além da coleta obrigatória para os pneus inservíveis em níveis federal, estaduais e municipais, ações de reutilização nem sempre são aconselháveis, por motivos que envolvem questões sanitárias e ambientais. Em geral, pneus abandonados promovem a propagação de doenças, como é o caso da dengue em estações de verão na região sul e em todas as estações do ano nas regiões mais quentes do Brasil.

A aplicação da resolução número 258 de 2002 do Código Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), estabelece que as empresas, fabricantes e importadores são obrigados anualmente, a comprovar junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (Ibama), a destinação final ambientalmente adequada das quantidades de pneus inservíveis correspondentes às quantidades fabricadas ou importadas.

A partir disso, diversas alternativas para o final de vida de pneus podem ser aplicadas, envolvendo desde aplicações de aproveitamento energético (*e.g.* transformação em óleo e gás e como combustível em cimenteiras), como insumo para produção de asfalto em obras de pavimentação e em produtos manufaturados diversos (*e.g.* tapetes e outros componentes automotivos, pisos e revestimentos



acústicos, tubos para construção civil, calçados, móveis, pneus maciços, correias transportadoras, produtos para casa e jardim e borracha regenerada).

Para o caso das chapas de “Ecotop”, mesmo não tendo a informação da durabilidade (*i.e.* tempo de utilização antes do descarte), acredita-se que estas possam ser inseridas no reciclo como matérias-primas de novas chapas, em que poderiam passar pelos processos de trituração (moagem), prensagem a quente e corte. Todavia, considerando que a matéria-prima das primeiras chapas são provenientes de resíduos pré-consumo de embalagens de creme dental, não se sabe qual seria o percentual de material primário (*i.e.* “virgem”) e a compatibilidade deste ser inserido em conjunto com as chapas existentes.

Dois fatores importantes, relacionados aos impactos de respiratórios inorgânicos e toxicidade humana, são as contribuições dos processos de fabricação de metais como o aço e o cobre, e a toxicidade das baterias de chumbo-ácido. Uma alternativa poderia ser a exigência da comprovação da neutralização das emissões (aquáticas, terrestres e atmosféricas) por parte dos fabricantes em seus processos produtivos.

Com relação às ações de projeto de produto com as considerações ambientais, as mais concretas na fase de revisão do produto estão relacionadas a forma repensar a estratégia de coleta dos resíduos. Um exemplo é a adoção de PEV (*i.e.* Posto de Entrega Voluntária) como já realizado em vários países europeus.

A partir da extensão das soluções para novas alternativas de sistemas de coleta, com a adoção de containeres que atuam como PEV, exemplos de modularidade na coleta podem diminuir o tempo de separação de resíduos na fase de triagem, além de incentivar a praticidade e a eficiência na coleta (Figura 4.43).

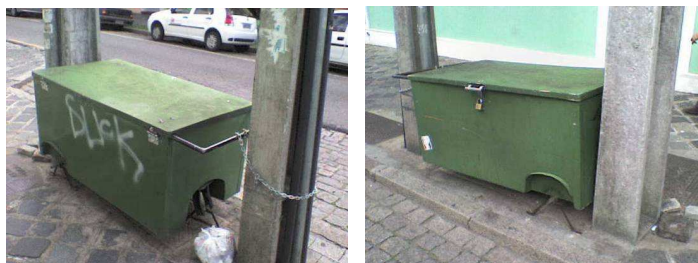


Figura 4.43 - Exemplo de PEV móvel em sistema modular para coleta de resíduos (imagens registradas pelo autor no Centro de Curitiba (PR), em 17/09/2008)

A partir do estudo de caso apresentado detalhadamente no decorrer deste Capítulo, com a descrição das principais características dos componentes do

VEC300, identificadas principalmente por meio das matrizes de material e de processos, a avaliação ambiental foi realizada seguindo parâmetros utilizados pela indústria automotiva mundial, utilizando-se da correlação com as respectivas fases do ciclo de vida do VEC300.

Dentre os parâmetros utilizados, a contextualização para a seleção de materiais foi associada às estruturas de bases de dados MDS (*Material Data System*) e IDIS (*International Dismantling Information System*), usualmente utilizadas como referências para declaração de substâncias.

Já a taxa de reciclabilidade foi realizada por meio de cálculos baseados na norma ISO 22628 (2002) e o valor obtido de 100% somente pode ser alcançado desde que os ciclos de vida dos componentes sejam considerados (*i.e.* sistemas de produtos com ciclos aberto e/ou fechados) e realizados pelos fabricantes.

Para a ACV ambiental, realizada de modo simplificado, foi seguida a norma ABNT NBR ISO 14040 (2009), em sua totalidade de requisitos.

A análise dos resultados considerou cada um dos parâmetros citados, além de abordar uma reflexão principalmente nas sugestões de projeto para o meio ambiente, com as possíveis ações que podem ser utilizadas pelo fabricante do VEC300 na concepção de um novo veículo ou no reprojeto do existente.

Na etapa de discussão, foram abordadas sugestões e considerações de caráter condicional, prioritariamente para os grupos de componentes, procurando, onde possível, associar a legislação vigente, os impactos ambientais identificados pelo estudo de ACV ambiental e as oportunidades de melhorias sistêmicas, como outras formas de coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis.

## 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 CONCLUSÃO

Por meio de um programa que visa promover o uso e desenvolvimento de energias renováveis, em direção a novas tecnologias para produção de eletricidade, a ITAIPU lançou em 2007 um veículo elétrico para a coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis, concebido em parceria com uma indústria privada.

Uma das possibilidades relacionadas se deve ao uso de resíduos urbanos orgânicos como insumo para gerar eletricidade em centrais termoelétricas por meio de biogás. Ao mesmo tempo, resíduos sólidos urbanos recicláveis constituem um grave problema ambiental no Brasil, pois não são separados dos resíduos orgânicos e não possuem uma destinação adequada, além dos agentes de coleta utilizarem veículos inadequados ou inapropriados, que colocam em risco tanto a saúde e integridade destes, como do trânsito ao redor.

A partir disso, um veículo elétrico para coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis torna-se interessante, visto que tende a auxiliar os agentes de coleta na parte logística e operacional, aumentando a quantidade coletada, causando menos lesões aos usuários e dando maior dignidade profissional aos agentes de coletas.

No entanto, há vários impactos ambientais que ocorrem durante o ciclo de vida deste veículo, como os citados no Capítulo 4, que poderiam ser considerados durante a fase de projeto do produto.

Com isso, a proposta deste estudo foi viabilizada por meio da aplicação dos conceitos de normas de gestão ambiental e *softwares* e bases de dados específicas, obtendo informações, que após formatadas, contribuíram com sugestões e recomendações para o projeto de um novo veículo elétrico com impactos menos agressivos.

As principais considerações sobre o VEC300 são listadas por meio da validação pelos aspectos:

a) Ambiental: definição de modelos de banco de dados para declaração de substâncias; obtenção de resultados oriundos da aplicação de Avaliação do Ciclo de Vida para veículos elétricos;

b) Social: contribuição para a melhoria da qualidade de vida dos agentes de coleta, com o fornecimento de um veículo menos danoso e de fácil operação. Em vários projetos de veículos já desenvolvidos, a problemática persiste na interface da tarefa do agente de coleta. Com isso, o projeto de um veículo motorizado tende a contribuir para a minimização dos impactos associados, como é o caso do VEC300;

c) Tecnológico: com a promoção para o uso e desenvolvimento de energias renováveis; com a contribuição para o projeto para o meio ambiente de veículos elétricos; com a contribuição para o projeto de produtos com impactos menos agressivos ao meio ambiente;

d) Científico: confirmação da aplicabilidade de metodologias de projeto para o meio ambiente.

Os grupos de componentes mais penalizantes identificados são o sistema elétrico e o de armazenamento, sendo o primeiro possuidor de metais pesados como chumbo e com a utilização de cobre no motor e no cabeamento. No segundo, os processos de usinagem e a massa de cerca de 68% de metal ferroso do veículo de 316 quilogramas são os principais motivadores.

Algumas sugestões de melhorias e modificações, sem perder a função, envolvem a inclusão das soluções de reciclo aberto ou fechado de todos os grupos de componentes, os quais mostram-se como oportunidades tangíveis quando do final de vida do VEC300, desde a existência de leis específicas que tornam obrigatória a coleta, até a valorização econômica destes materiais.

A partir da desmontagem sistêmica do VEC300, todos os grupos de componentes possuem processos de reciclagem existentes em território brasileiro. Com isso, a taxa de reciclabilidade 100% mostra-se factível.

Após a realização da ACV, foi constatado que as etapas poderão sofrer modificações nas fases do ciclo de vida, incluindo a opção por outros materiais ou processos, assim como contribuir para a definição de diretrizes de projeto relacionadas com o final de vida. Estas diretrizes podem envolver conceitos como o

Projeto para a Desmontagem (*Design for Disassembly, DfD*) e Projeto para a Reciclagem (*Design for Recycling, DfR*).

A etapa de montagem demanda um grande consumo de material metálico ferroso. Todavia, caso este material seja utilizado em cadeias de reciclo fechado, os impactos nesta matriz seriam evidentemente menores. Isso contribui como uma característica a ser considerada na retro-alimentação da avaliação ambiental para a equipe de projeto e que pode ser de fundamental importância quando do reprojeção do VEC300 ou então para o projeto e desenvolvimento de um novo veículo.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As oportunidades para continuação deste trabalho surgem sob a ótica de cinco aspectos recomendados:

a) Ambiental: realização de uma ACV comparando o VEC300 com o Coletortec (*i.e.* veículo com motor à combustão movido a puxão); elaboração de um inventário mais completo do ciclo de vida do VEC300; mensuração dos aspectos de toxicidade (índices TPI (*Toxicity Potential Index*) e TEP (*Toxic Emissions Potential*), comumente utilizados pela indústria de equipamentos elétricos e eletrônicos quando da utilização dos aspectos de ecodesign), provenientes dos índices de lixiviação (vide ABNT NBR 10005, 2004) e solubilidade (ABNT NBR 10006, 2004) das substâncias presentes nos componentes; dar seqüência a elaboração de documentos para as declarações ambientais relacionadas à área automotiva (IDIS e IMDS);

b) Social: a partir de estudos ergonômicos por meio de metodologias propostas por Okimoto e Guimarães (2007), Bjarne e Bente (2002), Snook e Ciriello (1991), e softwares específicos (*e.g.* CATIA V5 R18 módulo *ergonomic analysis*), a realização da análise ergonômica da tarefa de puxar o VEC300 torna-se pertinente assim como a comparação dos esforços realizados pelos usuários com o uso do VEC300 em relação aos veículos movidos a empurrão, com força humana;

c) Logísticos: simulação de novas modalidades de PEV (Posto de Entrega Voluntária); elaboração de uma matriz morfológica com as opções para armazenamento e compactação dos resíduos (containers);

d) Econômico: realização de estudo de mercado e custos das baterias trativas de maior potência e menor toxicidade (e.g. lítio-íons, lítio-polimérico, níquel metal hidruro), pois são fatores limitantes e ao mesmo tempo, desafiadores e instigadores;

e) Tecnológico: realização de testes da eficiência energética durante o uso e medição da taxa de falhas das baterias e da controladora; definição dos procedimentos para desmontagem sistêmica e disponibilização de serviços de *take-back*. Como não foi considerado o tempo de desmontagem e acesso à função, sugere-se que sejam aplicadas metodologias cientificamente comprovadas (como o Projeto para a Desmontagem), além de softwares específicos (como OPERA®) que podem indicar aos projetistas os tempos de acesso à função, as dificuldades, as ferramentas necessárias e os custos associados.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS DIFICULDADES DO ESTUDO

As maiores dificuldades encontradas durante a avaliação ambiental do VEC300 estão relacionadas a dois aspectos fundamentais, que interferiram diretamente no tempo de execução das atividades. São elas:

a) Coleta de dados: a demora no fornecimento das informações atrasou todo o estudo e a ausência de informações necessárias aumentou o número de dados estimados;

b) Acesso ao software de ACV: como o acesso às bases de dados estava limitado à um computador, dificultou na geração dos resultados.

## REFERÊNCIAS

ALJON. **Auto Recycling Equipments**. 2009. Disponível em: <<http://www.aljon.com>>

Acesso em: 20 de dezembro de 2009.

ADEME. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. Etiquetage des véhicules. **Émissions de CO2 par type de carburant**. 2010. Disponível em:

<[www.ademe.fr/co2vehicule](http://www.ademe.fr/co2vehicule)> Acesso em: 14 de fevereiro de 2010.

ADEME. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. **Les Véhicules Hors d'Usage**. Scenario en France. 2005.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.

**Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo: 2004. Disponível em:

<<http://www.anfavea.com.br>> Acesso em: 16 de maio de 2008.

ARENA, A.P.; CIVIT, B. 2007. Avances en el desarrollo de factores de equivalencia para ser aplicados en estudios de Análisis de Ciclo de Vida. Región Centro Oeste Àrida Argentina. CILCA 2007. Conference Internacional of Life Cycle Assessment. **Anais..** São Paulo, Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida. Princípios e Estrutura**: NBR ISO 14040. Rio de Janeiro, 2009. 21p.

\_\_\_\_\_. **Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida. Requisitos e orientações**: NBR ISO 14044. Rio de Janeiro, 2009. 46p.

\_\_\_\_\_. **Gestão Ambiental - Vocabulário**: NBR ISO 14050. Rio de Janeiro, 2004. 23p.

\_\_\_\_\_. **Gestão Ambiental: Integração dos Aspectos Ambientais no Projeto e Desenvolvimento do Produto**: ISO TR 14062. Rio de Janeiro. 2004. 26p.

\_\_\_\_\_. **Resíduos Sólidos - Classificação**: NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

\_\_\_\_\_. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**: NBR 10005. Rio de Janeiro, 2004. 16p.

\_\_\_\_\_. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**: NBR 10006. Rio de Janeiro, 2004. 03p.

\_\_\_\_\_. **Veículo Rodoviário de Carga. Terminologia**: NBR 9762. Rio de Janeiro, 2006.

AUTOINSURANCE. **Electric car timeline**. Disponível em: <<http://www.autoinsurance.org>> Acesso em: 16 de novembro de 2009.

AUTOKIERRATYS. Suomen Autokierrätys Oy. Finnish Car Recycling Ltd. 2009. **Material Composition of EoLV**. Disponível em: <<http://www.autokierratys.fi>> Acesso em: 15 de novembro de 2009 às 17h00min.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J.C. **Planejamento Integrado de Produto**: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manole, 2008. 601p.

BARRETO, R.J. **Incorporação da Avaliação do Ciclo de Vida ao Projeto do Produto**. Dissertação (Mestrado) – UTFPR. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Curitiba, 2007. 134f.

BIR. Bureau of International Recycling. **End of Life Vehicles**. Disponível em: <<http://www.bir.org/aboutrecycling/EOLV>> Acesso em: 15 de fevereiro de 2010 às 17h15min.

BJARNE, L.; BENTE, S. The effect of different surfaces on biomechanical loading of shoulder and lumbar spine during pushing and pulling of two-wheeled containers. 2002, Elsevier Science Ltda. **Applied Ergonomics** (2002), V.3. p.167–174.

BLEST DO BRASIL. **Informações VEC300**. 2008. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por correio eletrônico: <rogerio.guimaraes@blest.com.br> em 12 de maio de 2008.

BLEST DO BRASIL. **Informações VEC300**. 2009a. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por correio eletrônico: <divonsirm@hotmail.com> em 14 de maio de 2009.

BLEST DO BRASIL. **Informações VEC300**. 2009b. Disponível em: <<http://www.blest.com.br>> Acesso em 15 de junho de 2009.



BLEST DO BRASIL. **Informações VEC300**. 2010. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por correio eletrônico: <rogerio.guimaraes@blest.com.br> em 13 de abril de 2010.

BORSATO, M.; CZIULIK, C.; UGAYA, C.M.L.; ROZENFELD, H.; AMODIO, C.E.; TOBIAS, J.R.; SANTOS, K.; LAZZARI, M.A.; BERNASKI, P.; FERNANDES, E.; ARAUJO, S.; SIQUEIRA, F.; JULIANO, R. Ontologia PLM Project: Development and Preliminary Results. Collaborative Product and Service Life Cycle Management for a Sustainable World. Proceedings of the 15<sup>th</sup> ISPE International Conference on Concurrent Engineering . **CE2008**. In: CURRAN, R.; CHOU, S.Y.; TRAPPEY, A.; London: Springer-Verlag, 2008. 621p.

BOSCH. Catálogo de Baterias. **Informações Técnicas**. Robert Bosch Ltda.: Campinas, 2007. Disponível em: <[http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/baterias/downloads/catalogo\\_baterias\\_2007.pdf](http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/baterias/downloads/catalogo_baterias_2007.pdf)> Acesso em: 11 de maio de 2009 às 16h50min.

BOSCH. Catálogo de Motores 2004-2005. **Informações Técnicas**. Robert Bosch Ltda.: Campinas, 2004.

BOSSCHE, P.V. SUBAT: An assessment of sustainable battery technology. **SUBAT Sustainable Batteries**. Bruxelas, 2005. Disponível em: <<http://www.battery-electric.com>> Acesso em: março à junho 2006.

BRAGA, B., **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. p.290.

BRALLA, J.G. **Handbook of Product Design for Manufacturing**. New York: McGraw-Hill, 1999.

BRASIL. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Lei nº 9503**. Artigo 104. 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro e dá outras providências. Brasília: 1997.

BRASIL. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Lei nº 9605**. 12 de fevereiro de 1998. A lei da natureza: lei de crimes ambientais. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. IBAMA. Brasília: 1998.

BRASIL. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Lei nº 10.848**. 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica e dá outras providências. Brasília: 2004.

BREZET, H.; ROCHA, C. Towards a Model for Product-Oriented Environmental Management Systems. **Sustainable Solutions. Developing Products and Services for the Future**. In: CHARTER, M.; TISCHNER, U. Sheffield: Greenleaf, 2001. 469p.

BROOKE, L.; EVANS, H. Lighten up! Automakers and suppliers accelerate their efforts to reduce vehicle weight by engineering them for greater use of lighter, stronger materials. **Automotive Engineering International**. SAE International. SAE Global Mobility Database. v.117. n.3. March, 2009.

BROOKE, L. Re-Engineering the auto engineer. Part 1. Meeting the technology challenge. The electrification of the vehicle is boosting demand for engineers with new competencies and skill sets. **Automotive Engineering International**. SAE International. SAE Global Mobility Database. v.117. n.9. September, 2009. 48p. 34-37p.

CAILLON, G. Accumulateurs portables. **Techniques de l'Ingénieur**. Édition nº E2140. Paris, 2005. Disponível em: <<http://www.techniques-ingenieur.fr>> Acesso em: março à junho 2006.

CARVALHO, R.V. Fim da Linha. Para onde vai (e poderia ir) o carro que ninguém usa mais. **Revista Auto Esporte**. M. 527. Abril 2009.

CARVALHO, A.S.; YAMAMOTO, R.R.; ARAÚJO, L. **Projeto Triciclo**. Trabalho acadêmico de graduação. Faculdade de Educação na Universidade de Brasília. Curso de Engenharia Mecânica. Disciplina Projeto 3: Economia Solidária e Educação. Disponível em: <<http://www.cdt.unb.br/pdf/ProjetoTriciclo.pdf>> Acesso em: 05 de fevereiro de 2010 às 20h51min.

CEMPRE. Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Quantidade de Resíduos Coletados no Brasil**. 2009. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>> Acesso em: 15 de junho de 2009.

CHARTER, M.; TISCHNER, U. **Sustainable Solutions: Developing Products and Services for the Future**. Sheffield: Greenleaf, 2001. 469p.

CONAMA. Define as diretrizes básicas e padrões de emissão para o estabelecimento de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – I/M. Código Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 7**. Brasília, 1993. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res93/res0793.html>> Acesso em: 10 de janeiro de 2010.

CONAMA. Estabelece o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Código Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 18**. Brasília, 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res1886.html>> Acesso em: 10 de janeiro de 2010.

CONAMA. Estabelece regras e mecanismos para inspeção de veículos quanto às emissões de poluentes e ruídos. **Resolução Conama nº 256**. Brasília, 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25699.html>> Acesso em: 10 de janeiro de 2010.

CONAMA. Disciplina o descarte e gerenciamento ambientalmente adequado de pilhas e acumuladores elétricos. Código Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 401**. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res08/res40108.html>> Acesso em: 12 de outubro de 2009.

CONAMA. Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Código Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 313**. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31302.html>> Acesso em: 10 de abril de 2008.

CONTRAN. Estabelece o relatório de avarias para a classificação dos danos decorrentes de acidentes e os procedimentos para a regularização ou baixa dos veículos e dá outras providências. Conselho Nacional de Trânsito. **Resolução Contran nº 297**. Brasília, 21 de novembro de 2008.

COSTLOW, T. Technology Report. Electronics. Ethernet and 1394 spar with MOST for infotainment openings. **Automotive Engineering International**. SAE International. SAE Global Mobility Database. v.117. n.8. August, 2009a. 48p. 24-25p.

\_\_\_\_\_. Technology Report. Electronics. Vendors scramble to provide USB connectivity. **Automotive Engineering International**. SAE International. SAE Global Mobility Database. v.117. n.8. August, 2009b. 48p. 25p.

\_\_\_\_\_. Technology Report. Electronics. Telematics evolution spawns many questions. **Automotive Engineering International**. SAE International. SAE Global Mobility Database. v.117. n.9. September, 2009c. 48p. 26-27p.

CORBEIL, J.C.; ARCHAMBAUL, A. **Dicionário Visual SBS**. Português,. Inglês, Espanhol. Ed. SBS. São Paulo: 2007.

CRUZ, J.A.W. **Governança de Redes, Cooperação e Desenvolvimento**. Estudo de caso em uma rede de associações de coletores de material reciclável. [S.I.] : Edição própria, 2007. 1 video-disco (20min).

DNIT. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte. **Distâncias entre cidades**. 2010. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/rodovias/distancias/distancias.asp> Acesso em: 10 de fevereiro de 2010.

ÉCO-MOBILITÉ. Véhicules Électriques. **Produits**. Disponível em: <http://www.eco-mobilite.com>> Acesso em : 10 de janeiro de 2010.

ECOTOP. Chapas Ecotop. **Especificação Técnica**. 2009. Disponível em: <http://www.ecotop.com.br>> Acesso em: 16 de outubro de 2009 às 16h40min.

ELVS. **End of Life Vehicle Solutions**. United States of America. 2009. Disponível em: <http://www.elvs.org>> Acesso em: 15 de fevereiro de 2010 às 15h30min.

EPEAT. Environmental Assessment of Personal Computer Products. **Epeat labels classification**. 2009. Disponível em: <http://www.epeat.net>> Acesso em: 20 de outubro de 2009.

EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, **Type-approval of motor vehicles with regard to their reusability, recyclability and recoverability and amending**: Directive 2005/64/EC. Diretiva do Conselho Europeu, Bruxelas, 26 de Outubro de 2005.

\_\_\_\_\_. **End-of-life of vehicles**: Directive 2000/53/EC. Diretiva do Conselho Europeu, Bruxelas, 18 de Setembro de 2000.

\_\_\_\_\_. **Waste of Electrical and Electronic Equipment (WEEE):** Directive 2002/96/EC. Diretiva do Conselho Europeu, Bruxelas, 27 de janeiro de 2003.15p.

\_\_\_\_\_. **The restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS):** Directive 2002/95/EC. Diretiva do Conselho Europeu, Bruxelas, 27 de janeiro de 2003.15p.

FEBELAUTO. **Recyclage automobile en Belgique.** 2010. Disponível em: <<http://www.febelauto.be>> Acesso em: 15 de fevereiro de 2010.

FERREIRA, V.O.; SILVA, E.L. **Estabelecimento da Quantidade de Biodiesel e Diesel considerando as emissões de gases causadores do efeito estufa.** Projeto Final do Curso de Engenharia Industrial Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba: UTFPR. 2009.

FIKSEL, J. **Design for Environment:** Creating Eco-Efficient Products and Processes. McGraw-Hill, 1996.

FLORES, J. Portal Automotor. Atualidade. **Reciclagem de Veículos.** Outubro 2003. Disponível em: <<http://www.automotor.xl.pt/aut/1003/a04-00-00.shtml>> Acesso em: 10 de março de 2008.

GEHM, R. Technology Report. Body. The future is bright for LEDs. **Automotive Engineering International.** SAE International. SAE Global Mobility Database. v.117. n.8. August, 2009. 48p. 28-29p.

GERRARD, J.; KANDLIKAR, M. Is European end-of-life vehicle legislation living up to expectations? Assessing the impact of the ELV Directive on 'green' innovation and vehicle recovery. **Journal of Cleaner Production** 15. 2007. p.17-27. Elsevier Science Ltd. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>> 10/01/2006. Acesso em: 06 dezembro 2007.

GM. General Motors. **Projeto para o Final de Vida de Automóveis.** Disponível em: <<http://www.gm-elv.com>> Acesso em 15/02/2010 às 16h50min.

GRAEDEL, T.E; ALLENBY, B.R. **Industrial Ecology.** New Jersey: Prentice Hall, 2003.

GORE, A. **Uma verdade inconveniente: um aviso global.** [S.l.] : Paramount, 2007. 1 video-disco (96min).

- GOUPIL INDUSTRIE. Véhicules Électriques. **Produits**. Disponível em: <<http://www.goupil-industrie.eu/en/>> Acesso em: 10 de janeiro de 2010.
- GUELERE FILHO, A.; PIGOSSO, D.C.A., Ecodesign: Métodos e Ferramentas. Ferramentas de Gestão Ambiental. **Competitividade e sustentabilidade**. In: PIMENTA, H.C.D.; GOUVINHAS, R.P. Natal: CEFET-RN. 2008. pp.155-182.
- GURGEL 800. História. **Gurgel Motores**. Disponível em: <<http://www.gurgel800.com.br>> Acesso em: 27/08/2007 às 14h00min.
- HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L.H. **The Natural Capitalism**. Little: Brown. 1999.
- HEIJUNGS, R.; GUINÉE, J.; HUPPES, G.; LANKREIJER, R.M.; UDO DE HAES, H.A.; WEGENER SLEESWIJK, A.; ANSEMS, A.M.M.; EGGELS, P.G.; VAN DUIN, R.; DE GOEDE, H.P. Environmental life cycle assessment of products. **Guide and background**. 1992.
- HIRSCH, J. **Cast Nonferrous: Automotive Trends in Aluminum, The European Perspective: Part Two**. Key to Metals. Resource Centre. Articles. Disponível em <<http://www.key-to-metals.com/Article137.htm>> Acesso em: 12 de março de 2008.
- HONDA. **Civic Híbrido**. Manual de desmontagem da bateria. Tokyo: 2006.
- IDIS. International Dismantling Information System. **Base de dados**. Disponível em: <<http://www.idis2.com>> Acesso em: 11 de novembro de 2009.
- IMDS. International Material Data System. **Base de dados**. Disponível em: <<http://www.mdsystem.com>> Acesso em: 11 de novembro de 2009.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Road Vehicles – Recyclability and Recoverability – Calculation Method: ISO 22628:2002**. Genebra, 2002. 18p.
- ITAIPU. Coordenadoria de Energias Renováveis. Centro Internacional de Hidroinformática. **Lançamento VEC300**. Foz do Iguaçu: 2008. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por correio eletrônico: <cbley@itaipu.com.br> em 15 de dezembro de 2008.
- JACTO. Veículos Elétricos. **Produtos**. Disponível em: <<http://www.jacto.com.br>> Acesso em 10 de janeiro de 2010.

JARC. Japan Automobile Recycling Promotion Center. **Automobile Recycling Program**. 2009. Disponível em: <<http://www.jarc.or.jp/en/recycling>> Acesso em: 15 de novembro de 2009 às 16h00min.

KARNEY, D. Energy. Feature. Lithium battery bonanza. Lithium battery technology is finally making its way to production hybrids and planned Evs, but improvements are needed. **Automotive Engineering International**. SAE International. SAE Global Mobility Database. v.117. n.12. December, 2009. 48p.30-32p.

KEOLEIAN, G.A.; MENEREY, D. **Life Cycle Design Guidance Manual**. Environmental Requirements and The Product System. Environmental Protection Agency (EPA), USA. EPA/600/R-92/226. January, 1993.

KERNEIS, H. Modus, le minispace qui se soucie déjà de sa fin de vie. **Editorial in Recyclage et Récupération**. Magazine, 17 septembre 2004 N° 33, pp.6-11.

LAZZARI, M.A.; MONICH, C.R. The End-of-Life of Vehicles in Brazil: A preliminary study. XVII Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade. SAE International. **Anais..São Paulo: SAE Brasil**. 2008.

LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L. A Gestão do Final de Vida dos Veículos no Brasil. Prêmio AEA de Meio Ambiente 2009. Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. **Anais..São Paulo: AEA**. 2009.

LAZZARI, M.A. **O Final de Vida das Baterias de Lítio-Íons: Estudo de caso para os veículos híbridos Renault**. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Mecânica ênfase em Gestão da Manufatura. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba: UTFPR. 2006. 164p.

L'Équipe. Le Quotidien du Sport et de l'Automobile. 64e année. N.20241. **Propaganda Citroën C3**. Paris, France. 09 décembre 2009.

L'est-éclair. N.20752. **Propaganda Opel Corsa**. Rennes, France. 09 décembre 2009.

LICCO, E. A. **Chumbo Secundário: A reciclagem das Baterias Chumbo-Ácido**. 2000, 221p.Tese (Doutorado em Saúde Ambiental). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.



LIMA, M.W.; SURLIUGA, G.C. COMLURB. Companhia Municipal de Limpeza Urbana do município do Rio de Janeiro. **Pesquisa com os agentes de coleta de resíduos**. 1993. Disponível em: <<http://comlurb.rio.rj.gov.br>> Acesso em: 05 de maio de 2009.

MAGGION. Pneus Forti. **Especificação Técnica**. 2009a. Disponível em: <<http://www.maggion.com.br/main.php?inc=industrial&pag=produto&id=18> > Acesso em: 16 de outubro de 2009 às 15h35min.

MAGGION. Pneus Forti. Especificação Técnica. **Informações Pneus Forti**. 2009b. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por correio eletrônico: <ddp@maggion.com.br> em 20 de outubro de 2009.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. Os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Editora da Universidade São Paulo, 2005. 1 ed. 367p.

MARQUES, A.C.C. **Reprojeto para o Meio Ambiente**. Ecoferramenta para pequenas e médias empresas do setor moveleiro. Dissertação (Mestrado) – CEFET-PR. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Curitiba: [s:n], 2004. 131f.

MARQUES, G.G.; ALVES, M.F. O selo ambiental do caminhão Tractor Constellation – Certificado ISO 14040/44. Prêmio AEA de Meio Ambiente 2009. Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. **Anais**. São Paulo: AEA. 2009. 20p. Menção honrosa categoria responsabilidade ambiental para a VWCO Volkswagen Caminhões e ônibus.

MARQUES, G.G. Apenas tecnologias avançadas serão insuficientes para a redução de CO<sub>2</sub> dos veículos. **Engenharia Automotiva e Aeroespacial**. Revista oficial da SAE Brasil, Sociedade de Engenheiros da Mobilidade. Ano 9. n. 40. 74p. 50-41p. 2009.

MECÂNICA ON-LINE. Especiais. **Uma história de compromisso com a preservação ambiental**. Junho 2005. Disponível em: <[http://www.mecanicaonline.com.br/especiais/2005/meio\\_ambiente/meio\\_ambiente.htm](http://www.mecanicaonline.com.br/especiais/2005/meio_ambiente/meio_ambiente.htm)> Acesso em: 07 de abril de 2006.



MEDINA, H. V. Produção e Uso Sustentável de Materiais: Gestão Ambiental e Análise do Ciclo de Vida. 61º Congresso Nacional da ABM, 24 a 27 de julho 2002. **Anais..** Rio de Janeiro, RJ.

MEDINA, H.V.; NAVEIRO, R.M. Eco-design practices in Europe fostering automotive vehicles recyclability in Brazil. **Product Management & Development**. Vol.7. n.1. June 2009. Pg 81-89. Instituto de Gestão de Desenvolvimento do Produto IGDP.

MNCMR. Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis. **Cadastro das bases**. 2010. Disponível em: <<http://www.mncr.org.br>> Acesso em: 25 de fevereiro de 2010.

MONAGHAN, M. Product Briefs. Headlamp bulbs. **Automotive Engineering International**. SAE International. SAE Global Mobility Database. ISSN 1543-849X. v.117. n.11. November, 2009. 48p. 44p.

MONTEIRO, J.H.P. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – SEDU – IBAM**. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano PR. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/apresentacao/apresentacao.asp>> Acesso em: 31 de janeiro de 2008 às 18h45min.

MOURA, M. Ford Fiesta Renascimento Retorno Obrigatório: Pelo menos para os carros, a vida depois da morte é uma certeza. **Revista Quatro Rodas**. Março 2007.

NVMSRP. ELVS Role in The NVMSRP and How the Mercury Switch Collection Program Works. National Vehicle Mercury Switch Recovery Program. **ELVS End of Life Vehicle Solutions Corporation**. United States of America. 2009. Disponível em: <<http://www.elvsolutions.org/MECHANICS%20OF%20THE%20NVMSRP%20COLLECTION%20PROGRAM%20APRIL%202008.pdf>> Acesso em: 15 de fevereiro de 2010 às 16h35min.

OKIMOTO, M.L.L.R.; GUIMARÃES, B.J.B. Avaliação da Magnitude de Carga na Tarefa de Empurrar e Puxar em Carrinho de Transporte. 8º Congresso Brasileiro de Ergonomia. **8º ABERGO. Anais..** São Paulo: 2007.

ORSATO, R.J.; WELLS, P.. U-Turn: the rise and demise of the automobile industry. **Journal of Cleaner Production** **15**. 2007. p.994-1006. Elsevier Science Ltd. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro)> 20/09/2006. Acesso em: 07 de dezembro de 2007.

O'SHEA, M.A. Design for Environment in conceptual product design – a decision model to reflect environmental issues of all life-cycle phases. **The Journal of Sustainable Product Design**. 2: 11–28, 2002. Kluwer Academic Publishers.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.H. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos**. Trad. Hans Andreas Werner; rev. Nazem Nascimento. São Paulo: Edgard Blucher; 2005.

PAINE, C. **Who killed the electric car ?** [S.I.] : Sony Picture Classics, 2006. 1 vídeo-disco (90min).

PARANÁ. DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DO PARANÁ. **Lei Estadual nº 12.493**. 22 de janeiro de 1999. Estabelece critérios para a destinação dos resíduos sólidos no Estado do Paraná. Curitiba: 1999.

PGRSI. Instrução Normativa CPRH nº 004/2006. **Termo de Referência para apresentação de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para Empreendimentos Industriais (PGRSI)**. Recife. GOVERNO DO ESTADO DO PERNAMBUCO, 2006.

PLATCHECK, E.R.; SCHAEFFER, L.; KINDLEIN JR., W.; CANDIDO, L.H.A. Methodology of ecodesign for the development of more sustainable electro-electronic equipments. **Journal of Cleaner Production** **16**. 2007. p.75-86. Elsevier Science Ltd. Disponível em: <[www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro)> 20/02/2007. Acesso em: 07 dezembro 2007.

PORTAL SINDICAL DOS METALURGICOS DO ABC. Subseção DIEESE. **Renovação e Reciclagem da Frota de veículos**. 10 de Outubro de 2004. Disponível em <[http://www.smabc.org.br/mostra\\_materia.asp?id=14](http://www.smabc.org.br/mostra_materia.asp?id=14)> Acesso em: 11 de Março de 2008.

PROGRAMA BRASILEIRO DO DESIGN. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Concurso *Design* de Caráter Social: **catálogo 2005**. Coordenado por Messias, F.B. Brasília: MDIC, 2005. 44 p.

RENAULT, Renault Ellypse. Recycling Aspects. **Removing and recycling parts is easy productive and cost-effective**. Vídeo ilustrativo do veículo. [S.I.] : Renault, 2005. 1 video-disco (30min).2005.

RE-SOURCE. Le Recyclage Automobile en France. **Les Outils pour le Recyclage des VHU**. 2009. Disponível em: <<http://www.re-source-industries.fr>> Acesso em: 20 de dezembro de 2009.

RODRIGO, J.; CASTELLS, F.; ALONSO, J.C.; GREIF, A.; DOSE, J.; LICHTENVORT, K.; ALBER, S. Quantitative Methodology for Assessing Recyclability Potential of Automotive Electrical and Electronic Systems (EES) in the Design Step. Application example to a smart junction box. **Sustainable Electrical and Electronic System for the Automotive Sector (SEES)**. 2009. Disponível em:

<[http://www.sees-roject.net/contents/File/LCM\\_SEES\\_URV\\_paper\\_recyclability.pdf](http://www.sees-roject.net/contents/File/LCM_SEES_URV_paper_recyclability.pdf)>

Acesso em: 01 de março de 2010 às 16h25min.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006. 542p.

SADOWSKA, N.; HOLLINS, B.; WELLINGTON, P. Hybrid cars. Have alternative fuel cars reached a 'tipping point' or are they just a fad ?. Part one of a paper exploring the reasons for the recent wider adoption of the hybrid car. **The Journal of the Institution of Engineering Designers**. Faversham: May/June, 2008a. v.34. n.3

SADOWSKA, N.; HOLLINS, B.; WELLINGTON, P. Hybrid cars. Have alternative fuel cars reached a 'tipping point' or are they just a fad ?. The concluding part of a paper exploring the reasons for the recent wider adoption of the hybrid car. **The Journal of the Institution of Engineering Designers**. Faversham: July/August, 2008b. v.34. n.4

SANTOS, M.M. Configurações da Propulsão Elétrica. Tecnologia. **Engenharia Automotiva e Aeroespacial**. In: RUFFO, G.H. Revista oficial da SAE Brasil,

Sociedade de Engenharia da Tecnologia de Mobilidade. Jul/Ago/Set 2009. Ano 9. n. 39. 66p. 32p.

SHARP, B. Andando com duas fontes. Tecnologia de Produto. **Engenharia Automotiva e Aeroespacial**. Revista oficial da SAE Brasil, Sociedade de Engenharia da Tecnologia de Mobilidade. Ano 8. n. 34. 66p. 26-29p. 2009.

SINGER, P. **Introdução à Economia Solidária**. São Paulo: Editora Fundação Perseu Abramo, 2002.

SIQUEIRA, A A.O.; ROSA J.; MATIAS, N.T.; RIBERIO, R.B. Veículo Coletor de Materiais Recicláveis. 7º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. **7º P&D Design. Anais..** Curitiba, 2006.

SMINK, C.K. Vehicle recycling regulations: lessons from Denmark. **Journal of Cleaner Production** **15**. 2007. p.1135-1146. Elsevier Science Ltd. Disponível em <[www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro)> 18/09/2006. Acesso em 06 de dezembro de 2007.

SNOOK, S.H.; CIRIELLO, V.M. The Design of Manual Handling Tasks: Revised Tables of Maximum Acceptable Weights and Forces. Elsevier Science Ltd. **Ergonomics** (1991). v.34. n.9. p.1197-1213.

THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, IEEE Computer Society. **Standard for Environmental Assessment of Personal Computer Products, Including Laptop Personal Computers, Desktop Personal Computers, and Personal Computer Monitors: IEEE1680**. New York: 2006. 42p.

TECSCAN. Recibel. Equipamentos industriais para reciclagem. **Produtos**. Coletortec. Disponível em: <<http://www.tecscan.com.br>> Acesso em: 10 de janeiro de 2009.

TISCHNER, U. Tools for Ecodesign and Sustainable Product Design. Sustainable Solutions. **Developing Products and Services for the Future**. In: CHARTER, M.; TISCHNER, U. Sheffield: Greenleaf, 2001. 469p.

TOYOTA MOTORS COMPANY. **Corporate Responsibility. Environment**. 2006. Disponível em: <<http://www.toyota.co.jp/en/environment/index.html>> Acesso em: 25 de janeiro de 2006.

UGAYA, C.M.L. Cenários Ambientais da Renovação da Frota de Automóveis no Brasil. Avaliação do Ciclo de Vida: **A ISO 14040 na América Latina**. In: PIRES, A.C.; SOUZA-PAULA, M.C.; VILLAS-BOAS, R.C.. Brasília: Abipti, 2005. 337p.

UGAYA, C.M.L. **Análise do Ciclo de Vida: estudo de caso para materiais e componentes automotivos no Brasil**. 2001, 199p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Campinas.

ULRICH, L. Popular Science. Future of the car: Power. **Green-Fuel Guide**. We handicap the future of the key technologies that, little by little, will replace the gasoline. Tampa: Maio, 2007. v.270. n.5

UNEP. United Nations Environment Programme. Division of Technology, Industry and Economics. **Design for Sustainability**. A practical approach for developing economies. Paris: 2006. 124p.

UTFPR. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Relatório Parcial de atividades do Convênio de Cooperação Técnica entre Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)**. Curitiba: UTFPR. 2006. 38p.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. CONGRESSO NACIONAL. Deputado Adelor Vieira. **Projeto de Lei nº2796**. 16 de dezembro de 2003. Dispõe sobre o Programa Nacional de Renovação e Reciclagem da Frota de Veículos Automotores. Brasília: 2003.

VOLKSWAGEN AG, **The Golf Environmental Commendation – Background Report**. Group Research Environmental-Affairs-Product. Wolfsburg: Jan. 2008. Disponível em:

<[http://www.volkswagen.com/etc/medialib/vwcms/virtualmaster/de/Unternehmen/mobilitaet\\_und\\_nachhaltigkeit/downloads/umweltpraedikate.Par.0026.File.pdf/ENG\\_Environmental%20Commendation%20GolfVI.pdf](http://www.volkswagen.com/etc/medialib/vwcms/virtualmaster/de/Unternehmen/mobilitaet_und_nachhaltigkeit/downloads/umweltpraedikate.Par.0026.File.pdf/ENG_Environmental%20Commendation%20GolfVI.pdf) > Acesso em: 16 de setembro de 2009 às 1h15min.

WALMART BRASIL. **Relatório da Cadeia Produtiva**. 2009. Disponível em: <<http://www.varejosustentavel.com.br>> Acesso em: 15 de maio de 2009.

WASTE ON LINE. **End-of-life vehicle and tyre recycling information sheet.** September 2004. Disponível em <http://www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/vehicle.htm> Acesso em 15 de Março de 2008.

ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A.R.; BRAUN, I. Curauá fibers in the automobile industry e a sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production** 15. 2007. p.1032-1040. Elsevier [Science](http://www.elsevier.com/locate/jclepro) Ltd. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/jclepro> 13/09/2006. Acesso em: 06 dezembro 2007.



## APÊNDICE B - PRODUÇÃO CIENTÍFICA NO PERÍODO 2007-2009

### Prêmios recebidos

**2009:** Prêmio AEA de Meio Ambiente (Associação Brasileira de Engenharia Automotiva).

Vencedor na Categoria Acadêmicos.

LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L.

**2008:** SAE BR (Sociedade de Engenheiros da Mobilidade, *Society of Automotive Engineers*).

Vencedor do Prêmio Gabriel Gueler Melhor paper Meio Ambiente do Congresso SAE Brasil 2008

LAZZARI, M.; MONICH, C.

### Capítulos de livros publicados

**2008:** BORSATO, M.; ESTORILIO, C.A.; UGAYA, C.M.L.; CZIULIK, C.; FERNANDES, E.; SIQUEIRA, F.; ROZENFELD, H.; TOBIAS, J.R.; SANTOS, K.; LAZZARI, M.; BERNASKI, P.C.; JULIANO, R.; ARAÚJO, S.. Ontologia PLM Project: Development and Preliminary Results. In: Richard Curran; Shuo-Yan Chou; Amy Trappey. (Org.). Collaborative and Service Life Cycle Management for a Sustainable World. Londres: Springer-Verlag, 2008, p.503-511.

### Artigos aceitos para publicação em periódicos

**2009:** BORSATO, M.; ESTORILIO, C.A.; UGAYA, C.M.L.; CZIULIK, C.; ROZENFELD, H.; FERNANDES, E.C.; SANTOS, K.; LAZZARI, M.; SIQUEIRA, F.; BERNASKI, P.C.; BRANICIO, S. An Ontology Building Approach for Knowledge Sharing in Product Lifecycle Management. *International Journal of Business and Systems Research*, 2009

### Trabalhos completos publicados em anais de congressos e seminários

**2009:** LAZZARI, M.A.; MOREIRA, S.; ESTORILIO, C.A.; KAPOR, C.; SIQUEIRA, F.; SILVA, S. Melhoria de Projeto de um brinquedo lançador de discos com aplicação dos métodos Análise de Valor e FMEA de Projeto. II Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). 01 a 04 de Dezembro de 2009. Curitiba, Paraná, Brasil.

**2009:** LAZZARI, M.A.; MOREIRA, S.; ESTORILIO, C.A.; KAPOR, C.; SIQUEIRA, F.; SILVA, S. Design improvement of a launching record toy through two methods application Value Analysis and Design FMEA. In: VII CBGDP, Agosto 2009, São José dos Campos - SP. Lean em Desenvolvimento de Produtos, 2009.

**2008:** LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L. A Gestão do Final de Vida dos Automóveis no Brasil. Prêmio AEA de Meio Ambiente 2009. São Paulo, Brasil.

**2008:** LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L.; BLEY JUNIOR, C.J. Considerações preliminares sobre a Avaliação Ambiental de um VECRSUR. I Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM) da



Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). 08 a 10 de Dezembro de 2008. Curitiba, Paraná, Brasil.

**2008:** BORSATO, M.; ESTORILIO, C.A.; CZIULIK, C.; UGAYA, C.M.L.; FERNANDES, E.; SIQUEIRA, F.; ROZENFELD, H.; TOBIAS, J.R.; SANTOS, K.; LAZZARI, M.A.; BERNASKI, P.C.; JULIANO, R.; ARAÚJO, S. Ontologia PLM Project: Development and Preliminary Results. In: 15th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (CE2008), 2008, Belfast. Proceedings of the 15th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (CE2008). Londres : Springer-Verlag, 2008. p. 503-511.

Collaborative Product and Service Life Cycle Management for a Sustainable World. Proceeding of 15th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (CE2008). Ed. Springer. ISBN 978-1-84800-971-4. Ontologia PLM Project: Development and Preliminary Results.

**2008:** LAZZARI, M.; MONICH, C. The End-of-Life of Vehicles in Brazil: A preliminary study. Congresso SAE BR 2008 (XVII Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade da Sociedade de Engenharia Automotiva). 07 a 09 de outubro de 2008. São Paulo, Brasil. SAE BRASIL Copyright © 2008 Society of Automotive Engineers, Inc.

**2007:** LAZZARI, M. Proposta de Sistemática para Constituição de Microempresa Sustentável de Produtos Manufaturados. I Seminário Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável (I SBDS). Setembro, 2007. Curitiba, Paraná, Brasil.

**2007:** LAZZARI, M. The Ecodesign concepts in the Collaborative Manufacturing. I International Simposium of Sustainable Design (I ISSD). Setembro, 2007. Curitiba, Paraná, Brasil.

### **Artigos publicados na versão de resumo expandido**

**2009:** LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L.; ARENA, A.P.; CIVIT, B. The Acidification on the Life-Cycle Impact Assessment: a preliminary study among two places of different countries of South America. III Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida en Latino América. Creando un Plataforma Regional para Investigadores, Profesionales e Iniciativas en Enfoque de Ciclo de Vida. 27 al 29 de abril de 2009. Pucón, sur de Chile.

**2008:** LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L. I Congresso Brasileiro de Gestão do Ciclo de Vida (I CBGCV). O Ecodesign no contexto da Gestão do Ciclo de Vida de Produtos. 29 a 31 de Outubro de 2008. Curitiba, Paraná, Brasil.

**2008:** LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L.; ARENA, A.P.; CIVIT, B. I Congresso Brasileiro de Gestão do Ciclo de Vida (I CBGCV). A Acidificação na Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida: um estudo preliminar entre duas regiões de diferentes países sulamericanos. 29 a 31 de Outubro de 2008. Curitiba, Paraná, Brasil.

### **Artigos publicados completos e apresentados no formato de pôster**

**2008:** LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L. Congresso Trinacional de Ciências (C3N). ACV & Ecodesign: A Integração de Aspectos Ambientais no Projeto e Desenvolvimento de Produtos. 8 a 10 de Outubro de 2008. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. ISSN 1982-2758.

### Artigos publicados e apresentados no formato de pôster

**2009:** LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L.; BLEY JUNIOR, C.J. LCM's general appointments to design an electric vehicle to collect urban recyclable solid waste more ecofriendly. 4th International Conference on Life Cycle Management. 6-9 September 2009. Cape Town, South Africa.

### Resumos, abstracts e artigos aceitos para publicação porém não publicados

**2009:** OKIMOTO, M.L.R.; LAZZARI, M.A.; Calixto,C.C.Z; GUIMARAES, B.J.B. Avaliação da Magnitude de Carga na Tarefa de Empurrar um Carrinho de Transporte: Uma abordagem para usuários do sexo masculino com variação de três percentiles de massa e estatura diferentes. XVI SIMPEP.Simpósio de Engenharia da Produção. Novembro, 2009. Bauru, São Paulo, Brasil.

**2009:** LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L.; MEDINA, H.V. The main scenarios of End-of-Life of Vehicles in Brazil: A potential to insertion of recycled materials into automotive supply chain. SIMEA. AEA - Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. Setembro de 2009. São Paulo, Brasil.

**2009:** LAZZARI, M.A.; UGAYA, C.M.L. Ecodesign of new vehicles: addressing environmental aspects on the project phase. Congresso SAE BR 2009 (XVIII Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade da Sociedade de Engenharia Automotiva). Outubro de 2009. São Paulo, Brasil. SAE BRASIL Copyright © 2009 Society of Automotive Engineers, Inc.

**2008:** UGAYA, C.M.L.; LAZZARI, M.A.; KAMPA, J.; CORREA, S.R.R.; KAPOR, C., BRITO, R.; CAPUDI, M. Learning LCA with PBL: an example of a Screening LCA of Household Irons. Life Cycle Assessment VIII. Calculating Consequences Beyond the Box. 30 Sep-2 Oct 2008, Seattle, WA, USA.

### Entrevistas, reportagens e destaques

**2009, Outubro.** Entrevista na TV Sinal da Assembléia Legislativa do Estado do Paraná:Programa Marca Paraná sobre o logística reversa

**2009, Jun/Jul/Ago.** N.20. Tecnologia Automotiva. AEA Associação Brasileira de Engenharia Automotiva. Bosch, Mahle, CEPFS, EMTU, AutoEsporte e UTFPR levam Prêmio AEA de Meio Ambiente.

**2009, Maio.** Entrevista na TV Sinal da Assembléia Legislativa do Estado do Paraná sobre o final de vida dos automóveis no Brasil

**2009, Jan/Fev/Mar.** Ano 9. N.37. Engenharia Automotiva e Aeroespacial. SAE Brasil. Escolhidos os melhores papers do Congresso SAE BRASIL 2008.

**2009, Abril:** Revista Auto-Esporte. Edição 527. Para onde vai (e poderia ir) o carro que ninguém usa mais. Por Renata Viana de Carvalho.

**2008, Julho/Agosto:** Revista Geração Sustentável. Impactos ambientais em todo o ciclo de vida de produtos. Por Ana Letícia Genaro.

**2008:** Jornal UTFPR Comunidade. Ecodesign. Carrinho coletor no meio ambiente. Projeto, com apoio da Itaipu, prevê avaliação ambiental de veículo elétrico. Por Vanessa Hirata.

**2007, Setembro:** Entrevista com Nizan Pereira no programa Nacionalidade Brasileira, pela TV Educativa do Paraná.

## Participações em outros eventos

**2009:** Círculo de Diálogo Nós Podemos PR, promovido pelo sistema FIEP nas instalações da UTFPR. Curitiba, Paraná, Brasil.

**2009:** Palestra Environmental Impacts of Biofuels – current state of EMPAs research. UTFPR. Curitiba, Paraná, Brasil.

**2009:** Seminário Internacional de Propriedade Intelectual Como proteger direitos de propriedade intelectual no Brasil e nos Estados Unidos. Curitiba, Paraná, Brasil.

**2009:** Palestra proferida no Encontro de Profissionais da Area Ambiental do Programa Atuação Ecológica do PROES da UTFPR campus Curitiba. Tema Ecodesign de produtos e sistemas. Curitiba, Paraná, Brasil.

**2008:** VI Workshop IGDP – Gestão de Desenvolvimento de Produtos Inovadores. São Carlos, São Paulo, Brasil.

**2008:** Conferência Latino Americana de Preservação ao Meio Ambiente (IBDN). Curitiba, Paraná, Brasil.

**2008:** Participação como redator no III Seminário de Resíduos Sólidos, promovido pela ABES PR. UTFPR. Curitiba, Paraná, Brasil.

**2007:** Palestra proferida na Audiência Pública sobre Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos na Assembléia Legislativa do Estado do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil.

# ANEXO A – CRONOLOGIA DO VEÍCULO ELÉTRICO

## A Primer on ELECTRIC CARS

statistics and facts about electric cars

### What is it?

An electric car is powered by an electric motor instead of a gasoline engine. The energy is stored in its rechargeable batteries, which are recharged by electricity.

### What is the difference?

One major difference between the typical gasoline powered car and the electric car is the impact on the environment. Compare the features of each below:

**Electric car x Gasoline car**

No tailpipe emissions	Greenhouse gases
100+/- Mile range	300+ Mile range
Hours to recharge	Minutes to refuel
2 cents per mile	12 cents per mile

Electricity does not just power electric cars, it also helps power hybrids. But what is the difference between electric cars and hybrids?

### The structure of an electric car

### Shocking facts

- Measurements of atmospheric CO<sub>2</sub> from the Mauna Loa observatory show that concentrations have increased from about 315 ppm in 1958 to about 390 ppm in 2005.
- The current observed amount of CO<sub>2</sub> exceeds the geological record maximum from ice core data.
- Reduction in CO<sub>2</sub> emissions depends on generating electricity used to charge the vehicles.
- Renewable energy, which comes from natural resources such as sunlight, is a green alternative.

### The electric car is powered solely by electricity

The hybrid is fueled by gasoline and uses a battery and motor to improve efficiency.

### Electric car timeline

- 1832-1839** Robert Anderson invents the first electric carriage powered by primary cells.
- 1835** Thomas Edison is credited with building the first practical electric vehicle, a small locomotive.
- 1891** William Morrison builds the first successful electric automobile in the USA.
- 1897** The Pope Manufacturing Company of Connecticut becomes the first large-scale American electric automobile manufacturer.
- 1899** Thomas Alva Edison begins to create a long-lasting, powerful battery. Many new automobiles found their first commercial applications at New York fairs. Despite their relatively slow speed, they did not have the vibration, smell, and noise associated with gasoline cars.
- 1900** The electric automobile is on its heyday. 28% of the 4,192 cars produced in the United States are powered by electricity. Electric autos represent about one-third of all cars found on the roads of New York City, Boston and Chicago.
- 1920** While gasoline-powered cars increase in popularity, electric cars cease to be a viable commercial product.
- 1912** Charles Kettering invents the electric self-starting, eliminating crank-starting and making gasoline vehicles practical for all.
- 1908** Henry Ford introduces the mass-produced and gasoline-powered Model T, which has a profound effect on the USA market.
- 1970** Concerns about the price of oil and a growing environmental movement result in renewed interest in electric cars.
- 1972** Victor Wouk builds the first full-powered, full-size hybrid vehicle for the 1970 Federal Clean Car Incentive Program.
- 1988** Roger Smith, CEO of General Motors, agrees to fund research efforts to build a practical consumer electric car.
- 1997** Toyota unveils the Prius, the world's first mass-produced and marketed hybrid car. About 80,000 units are sold during the first year.
- 2009** The American Recovery and Reinvestment Act of 2009 allocates \$2 billion for development of electric vehicle batteries.
- 2008** Barack Obama says he will just to have one million plug-in hybrid and electric vehicles on America's roads by 2015.
- 1997-2000** A few thousand all-electric cars (such as Honda's EV Plus, GM's EV1 and Ford's Edsel EV) are produced by big car manufacturers.

### Green numbers

### How big is the impact?

**-30% CO<sub>2</sub>**

With the U.S. energy mix, using an electric car would result in a 30% reduction of carbon dioxide emissions.

The decrease of CO<sub>2</sub> emission

UK	-40%
China	-19%

Given the current energy mixes in other countries, it has been predicted that such emissions would decrease by 40% in the UK and 19% in China.

### The big players

### Car companies and their best electric models

- Think Global** (Audi, Europe) Car: Think City, Top speed: 65 mph
- Toyota Motors** (Palo Alto, California) Car: Think Roadster, Top speed: 125 mph
- Renault** (France) Car: Renault LEZ, Top speed: 90 mph
- Hyundai** (Seoul, Korea) Car: Hyundai Bluebird, Top speed: 80 mph
- Peugeot** (Paris, France) Car: Peugeot iOn, Top speed: 100 mph
- BMW** (Munich, Germany) Car: BMW i3, Top speed: 125 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo C30, Top speed: 125 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz Bionic, Top speed: 125 mph
- Lotus** (Wallingford, UK) Car: Lotus Evija, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Air, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1T, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Mustang Mach-E, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Seal, Top speed: 160 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX90, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQS, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Air Sapphire, Top speed: 200 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1S, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford F-150 Lightning, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 009, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo** (Gothenburg, Sweden) Car: Volvo EX30, Top speed: 160 mph
- Mercedes-Benz** (Stuttgart, Germany) Car: Mercedes-Benz EQE, Top speed: 160 mph
- Lucid Motors** (Sunnyvale, California) Car: Lucid Gravity, Top speed: 160 mph
- Rivian** (Rivian, California) Car: Rivian R1X, Top speed: 160 mph
- Ford** (Dearborn, Michigan) Car: Ford Explorer EV, Top speed: 160 mph
- Subaru** (Lebanon, New Hampshire) Car: Subaru Solterra EV, Top speed: 160 mph
- Geely** (Hangzhou, China) Car: Geely Zeekr 001, Top speed: 160 mph
- BYD** (Shenzhen, China) Car: BYD Yangwang U9, Top speed: 200 mph
- Volvo**

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)