GUSTAVO DAL POGGETTO

CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DA ARQUITETURA ELÉTRICA VEICULAR EM
MERCADOS EMERGENTES

São Paulo
2009

GUSTAVO DAL POGGETTO

CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DA ARQUITETURA ELÉTRICA VEICULAR EM
MERCADOS EMERGENTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Mestre Profissional em
Engenharia Automotiva.

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva

Orientador:
Prof. Dr. Lucas Antônio Moscato

São Paulo
2009

GUSTAVO DAL POGGETTO

CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DA ARQUITETURA ELÉTRICA VEICULAR EM MERCADOS EMERGENTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Mestre Profissional em
Engenharia Automotiva.

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva

Orientador:
Prof. Dr. Lucas Antônio Moscato

São Paulo
2009

Dal Poggetto, G.

Critérios para seleção da arquitetura elétrica veicular em mercados emergentes / G. Dal Poggetto. -- São Paulo, 2009. 192 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Engenharia elétrica 2. Engenharia automobilística 3. Eletrônica embarcada 4. Tomada de decisão 5. Desenvolvimento econômico I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

Dedico este trabalho a todos aqueles
que me apoiaram e me aturaram durante
os longos meses de pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao professor doutor Lucas Antônio Moscato, pela orientação durante todo o trabalho.

Aos doutores Marcos Barretto e Sandro Aparecido Baldacim pelos comentários, sugestões e apoio.

Aos amigos e mestres Alexandre de Almeida Guimarães, Dalicio Guiguer, Antonio Cesar Rosati, Fernando de Brito Santos, Carlos Alberto Monteiro, Rogério Vollet e Pascoal Scinocca pela orientação e suporte na obtenção de referências e conhecimento técnico.

E a todos os amigos, colegas e familiares que colaboraram direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este estudo tem por objetivo estabelecer os principais critérios de seleção de uma arquitetura elétrica adequada a mercados emergentes, considerando as necessidades de mercado, de legislação, de inovações e/ou novas funções a serem empregadas durante o ciclo de vida de um veículo.

Para tanto, o resultado da pesquisa bibliográfica deste trabalho, apresentada na revisão teórica, primeiramente define o significado de “arquitetura elétrica”, e conta a sua evolução desde os primórdios da indústria automotiva até os dias de hoje, apontando quais são os principais sistemas elétricos existentes atualmente, deixando clara a fundamental importância da eletrônica embarcada na evolução do automóvel. Mostram, ainda, suas principais tendências tecnológicas, além de um descritivo sobre técnicas, critérios e metodologia de desenvolvimento de projetos de arquitetura elétrica empregados hoje na indústria.

Na sequência, o trabalho define os conceitos de mercado emergente e mercado desenvolvido, apontando suas particularidades, volumes de negócio (histórico e projetado), deixando evidente a importância dos mercados emergentes nos dias de hoje para a indústria automotiva mundial e a necessidade de se estabelecer estratégias específicas para estes mercados.

Com base na própria pesquisa bibliográfica, somada à análise documental e a entrevistas não-estruturadas com membros ativos da indústria automotiva, foram concebidos os critérios para seleção de arquiteturas elétricas veiculares para mercados emergentes, assim como seus descritores e taxas de substituição (pesos).

A definição de pesos e descritores é necessária para a utilização do método de agregação aditiva, método este de tomada de decisão empregado devido a sua capacidade de avaliar simultaneamente diversas alternativas, através de parâmetros qualitativos.

Tal método, discutido na metodologia, mostrou-se muito eficiente por permitir uma avaliação dinâmica da análise proposta perante modificações em quaisquer parâmetros existentes.

Por fim, o método e os critérios foram finalmente aplicados em dois estudos de caso, selecionados com base em casos reais vivenciados pela indústria automotiva no

desenvolvimento de dois projetos: um veículo *hatch* popular e um veículo sedan médio de luxo, ambos destinados a mercados emergentes.

Através do estudo de caso, foi possível confrontar soluções de arquiteturas adotadas no passado, no presente e para um futuro próximo, além de confrontar também soluções adotadas para mercados desenvolvidos e para mercados emergentes.

O resultado deste estudo comprovou a necessidade da existência de critérios específicos para mercados emergentes, a coerência destes critérios e a robustez do modelo apresentado.

Convém ressaltar que, para o tema em questão (ou estudos de caso), a robustez e consistência do modelo de avaliação obtido e a importância comprovada dos critérios selecionados são pertinentes e válidos, considerando-se o fato de que a definição dos pesos e notas atribuídas ao modelo serem feitas pelo avaliador, nas quais são diretamente dependentes do conhecimento adquirido pela empresa (seja ela montadora ou fornecedora) e vivência do responsável pela avaliação, sujeitando-as, desta forma, a seus próprios conceitos.

Palavras-chave: Engenharia elétrica. Engenharia automotiva. Arquitetura elétrica. Eletrônica embarcada. Mercados emergentes. Tomada de decisão.

ABSTRACT

The aim of this study is to establish the criteria of election of an electrical architecture tailor-made for the emergent markets, considering the necessities of market, legislation, innovations and/or new functions to be applied during the whole vehicle's life-cycle.

Due to this, the result of the bibliographical research of this study, defines the meaning of "electrical architecture", and shows its evolution since the beginning of the automotive industry up to now, also presenting the main electrical systems available today, making clear the huge importance of the embedded electronics for the evolution of the automobile.

This study also presents the technological trends and a brief description of techniques, criteria and development methodology for electrical architecture projects available today in the industry.

Here after, the study defines the concepts of emergent market and developed market, showing their characteristics, market share and production volumes (historical and forecast), showing the importance of the emergent markets for the world-wide automotive industry nowadays and the needs for development of specific strategies for these markets.

Based on the bibliographical research, documentary analysis and the unstructured interviews with active members of the automotive industry, the criteria for election of electrical architectures for emergent markets was established, as well as their describers and swing-weights.

The definition of weights and describers is necessary for the use of the additive aggregation method – a decision taking method which has the capacity to evaluate several alternatives simultaneously, through qualitative parameters.

Such method, presented in the methodology chapter, was very efficient for dynamic evaluation of the proposals even before changes in its parameters.

Finally, the method and the criteria were finally applied in two studies of case, based on real cases of automotive industry when developing two projects: a low-cost hatch vehicle and a mid-size luxury sedan vehicle, both designed for emergent markets.

By the study of cases, it was possible to compare solutions of architectures adopted in the past, in the present and for a near future, and also to compare solutions adopted for developed markets and emergent markets.

The results of this study proved the necessity of specific criteria for emergent markets, the coherence of the established criteria and the robustness of the adopted model.

Regarding the studies of cases, the robustness and consistency of the evaluation model and the proved importance of the criteria are relevant and valid, even considering that the definition of the weights values and grades are always made by the evaluators. It means that they directly depend on the company's know-how and best practices (from carmakers or suppliers) and the professional experience of the evaluator, resulting, somehow, in their own values for different companies.

Keywords: Electric engineering. Automotive engineering. Electrical architecture. Embedded electronics. Emergent markets. Decision making.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de topologia de arquitetura moderna (11)	25
Figura 2 - Magneto de baixa tensão (esq.) e Starter com acoplamento mecânico (dir.) (15).....	26
Figura 3 - Esq.: Sistema de ignição por interrupção de circuito interno ao cilindro. Dir.: <i>Trembler ignition coil</i> (15)	27
Figura 4 - Sistema de ignição Kattering (15)	27
Figura 5 - Arquitetura elétrica de um Cadillac 1912 (15)	28
Figura 6 - Configuração motor/gerador integrado (A) e sistema combinado, com máquinas independentes (B) (15)	29
Figura 7 - Curva de desempenho de um alternador em 6V e 12V (17).....	30
Figura 8 - Curva de rotação (entregue pelo sistema de partida) pela temperatura externa em sistemas de 6V e 12V (17)	31
Figura 9 - Motor de partida com relação reduzida de engrenagens (Chrysler) (15)	32
Figura 10 - Aplicações eletrônicas em <i>powertrain</i> (19)	33
Figura 11 - Processamento do sinal em uma ECU (20)	34
Figura 12 - Número de módulos eletrônicos (ECU) por veículo em mercados desenvolvidos (25)	35
Figura 13 – Arquitetura elétrica de um sistema de distribuição de energia atual em 12 V (18).....	37
Figura 14 – Evolução das aplicações em sistemas de segurança ativos e passivos (11).....	40
Figura 15 – Exemplo conceitual de uma aplicação <i>Steer-by-Wire</i> (26).....	42
Figura 16 – Arquitetura da rede veicular (20).....	44
Figura 17 – Classes de protocolos conforme SAE (30).....	45
Figura 18 - Passado e futuro previsto para sistemas de controle dinâmico x-by-wire (11)	55
Figura 19 - Exemplo de arquitetura com sistema de distribuição avançado empregando linha AC de 48 Vrms (18)	57

Figura 20 - Exemplo de arquitetura multiplex com barramentos de alimentação e de comunicação, onde o gerenciamento de carga é feito localmente, de forma distribuída, por nós inteligentes (35)	59
Figura 21 - Topologia típica de um veículo atual (37)	62
Figura 22 - Topologia de uma arquitetura com quatro redes Nível 1, uma rede Nível 2 e quatro switches inteligentes (gateways simples) (37)	63
Figura 23 - Topologia de uma arquitetura tolerante à falha com quatro redes Nível 1 e uma Nível 2 (37)	64
Figura 24 - Topologia de uma arquitetura tolerante à falha com oito redes Nível 1, duas Nível 2 e quatro switches inteligentes (gateways simples) (37).	64
Figura 25 - AUTOSAR como parte de um processo global, envolvendo todos os níveis de desenvolvimento de um veículo (40).....	66
Figura 26 - Grau de integração entre os sistemas elétricos e eletrônicos hoje (esq.) e sua tendência (dir.) (41)	67
Figura 27 - Modelo de sistematização do processo de desenvolvimento de veículos novos (13)	71
Figura 28 - Exemplo de uma proposta conceitual de arquitetura elétrica de um veículo popular	74
Figura 29 - Aumento de funções (<i>features</i>) em sistemas elétricos, eletrônicos e de software (EES) em mercados desenvolvidos (42).....	79
Figura 30 - Exemplos de estratégias de reuso (49).....	81
Figura 31 - Exemplo de configuração independente (50).....	82
Figura 32 - Exemplo de configuração centralizada (50)	83
Figura 33 - Exemplo de configuração localizada (50)	83
Figura 34 - Exemplo de configuração modular (50)	84
Figura 35 - Exemplo de configuração inteligente (50)	84
Figura 36 - Esforços utilizados em projetos tradicionais (fig. sup.) e utilizando visão sistêmica (fig. inf.) (52)	86
Figura 37 - Comparativo entre mudanças de engenharia e tempo de lançamento de acordo com as abordagens de projeto (51).....	87
Figura 38 - Valor do mercado mundial de veículos novos (2003-2007) em dólares (53).....	88
Figura 39 - Participação dos blocos geográficos no mercado mundial de automóveis (passeio e utilitários) (54).....	88

Figura 40 - Evolução dos principais mercados automotivos (dados históricos 2004 a 2007 e estimados 2008 a 2012) (54).....	89
Figura 41 - Taxa anual de produção mundial de veículos (de 2000 a 2008, ajustada pela sazonalidade), em milhões de unidades (55).....	89
Figura 42- Taxa anual de produção norte-americana de veículos (ajustada pela sazonalidade), em milhões de unidades (55)	90
Figura 43 - Produção anual de veículos no mercado norte-americano (dados históricos de 1998 a 2008 e projetados de 2009 a 2014), em milhões de unidades (55)	91
Figura 44 - Produção anual de veículos no mercado europeu (dados históricos de 1998 a 2008 e projetados de 2009 a 2014), em milhões de unidades (55).....	91
Figura 45 – Alocação física: aumento da severidade ambiental (temperatura e vibração) em uma ECM (módulo de controle de motor) conforme a escolha de sua localização física (48).....	94
Figura 46 - Exemplo de seleção de áreas de concentração (41)	94
Figura 49 – Previsão, antes da crise de 2008, para o mercado da Ásia-Pacífico até 2012 (53)	101
Figura 51 - Produção anual de veículos nos mercados da Ásia e Pacífico (dados históricos de 1998 a 2008 e projetados de 2009 a 2014), em milhões de unidades (55)	102
Figura 52 - Produção anual de veículos nos mercados latino-americano, africano e do Oriente Médio (dados históricos de 1998 a 2008 e projetados de 2009 a 2014), em milhões de unidades (55)	102
Figura 53 - Potencial de mercado para veículos 'low cost' nos países emergentes (63).....	103
Figura 54 - Tata Nano, veículo indiano de baixo custo (65)	105
Figura 55 - GM Celta: Topologia de rede (25).....	107
Figura 56 - GM Celta: Topologia de distribuição elétrica (25)	107
Figura 57 - Fiat Palio: Topologia de rede (25).....	108
Figura 58 - Fiat Palio: topologia de distribuição elétrica (25).....	109
Figura 59 - VW Gol: Topologia de rede (12).....	110
Figura 60 - VW Gol: Topologia de distribuição elétrica (12)	110
Figura 61 - VW Fox: Topologia de distribuição elétrica (12).....	111

Figura 62 - VW Fox: Topologia de rede (12)	112
Figura 63 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 1: Topologia de distribuição elétrica	138
Figura 64 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 1: Topologia de redes	139
Figura 65 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 2: Topologia de distribuição elétrica	140
Figura 66 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 2: Topologia de redes	140
Figura 67 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 3: Topologia de distribuição elétrica	141
Figura 68 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 3: Topologia de redes	142
Figura 69 - Caso 1: Perfil de impacto das alternativas apresentadas	144
Figura 70 - Caso 1: Gráfico de Custo versus Benefício das alternativas propostas	144
Figura 71 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 1: Topologia de distribuição elétrica	148
Figura 72 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 1: Topologia de redes	149
Figura 73 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 2: Topologia de distribuição elétrica	150
Figura 74 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 2: Topologia de rede	151
Figura 75 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 3: Topologia de distribuição elétrica	152
Figura 76 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 3: Topologia de redes	152
Figura 77 - Caso 2: Perfil de impacto das alternativas apresentadas	154
Figura 78 - Caso 2: Gráfico de Custo versus Benefício das alternativas propostas	155
Figura 79 - Modelo de referência para comunicação de dados (ISO7498) (26)	166
Figura 80 - Protocolos de comunicação associados a cada camada de comunicação (26)	168
Figura 81 - O CAN visto pela perspectiva do modelo de comunicação estabelecido pela ISO7498, pela sua própria normatização (ISO11989) e pela sua aplicação física (31)	169
Figura 82 - Comunicação em uma rede CAN (27)	170
Figura 83 - Exemplo de arbitragem bit-a-bit por lógica tipo E num barramento CAN (31)	171

Figura 84 - Estrutura de um <i>frame</i> de dados do protocolo CAN (31)	172
Figura 85 - Formato do sinal elétrico em uma rede CAN (26)	173
Figura 86 - Rede High-Speed CAN (26)	174
Figura 87 - LIN <i>Work Flow</i> : organização da metodologia LIN (69)	177
Figura 88 - Comunicação em uma rede LIN (27)	178
Figura 89 - Composição de um frame LIN: cada um deles (69)	179
Figura 90 - Estados de comunicação de um LIN escravo (69)	179
Figura 91 - Princípio do streaming de dados no MOST (27)	181
Figura 92 - Transmissão de um frame MOST (27)	181
Figura 93 - Hierarquia de um sistema MOST (33)	182
Figura 94 - Comunicação em uma rede FlexRay (27; 34)	183
Figura 95 - Exemplo de fluxo de comunicação num segmento dinâmico (34) ..	184
Figura 96 - Estrutura de um frame FlexRay (34)	184
Figura 97 - Sincronização dos nós FlexRay (34)	185

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Novas cargas elétricas disponíveis em veículos topo-de-linha (previsão 2005)	36
Tabela 2 – Principais protocolos utilizados hoje pelas maiores montadoras do mundo	46
Tabela 3 - Variações do protocolo CAN quanto à sua configuração física (hardware)	47
Tabela 4 - Tipos de veículos fabricados durante o projeto (13).....	72
Tabela 5 - Vendas mundiais de veículos em 2007 (em unidades)	88
Tabela 6 - Critérios de seleção de arquiteturas elétricas para mercados emergentes	120
Tabela 7 - Função valor para o índice de mérito Custo.....	128
Tabela 8 - Função valor para o índice de mérito Classificação do Veículo quanto ao Espectro de Conteúdo	128
Tabela 9 - Função valor para o índice de mérito Confiabilidade, Robustez - MTBF	129
Tabela 10 - Função valor para o índice de mérito Flexibilidade	129
Tabela 11 - Função valor para o índice de mérito Tempo de Lançamento de Produto (<i>Time to Market</i>).....	129
Tabela 12 - Função valor para o índice de mérito Mão-de-Obra de Manutenção	130
Tabela 13 - Função valor para o índice de mérito Tempo de Detecção de Falhas e de Manutenção.....	130
Tabela 14 - Função valor para o índice de mérito Custo de Manutenção	130
Tabela 15 - Função valor para o índice de mérito Custo de Reposição.....	130
Tabela 16 - Função valor para o índice de mérito Reuso.....	131
Tabela 17 - Função valor para o índice de mérito Massa	131
Tabela 18 - Função valor para o índice de mérito Capacidade do <i>Hardware</i> (Sistema e Rede).....	131
Tabela 19 - Função valor para o índice de mérito Intercambiabilidade	132
Tabela 20 - Função valor para o índice de mérito Influência da Mudança de Requisitos.....	132
Tabela 21 - Função valor para o índice de mérito Proliferação de Peças	132

Tabela 22 - Função valor para o índice de mérito Mão-de-Obra de Manufatura	133
Tabela 23 - Função valor para o índice de mérito Tempo de Manufatura e Montagem	133
Tabela 24 - Função valor para o índice de mérito Infra-Estrutura de Manufatura	133
Tabela 25 - Taxas de substituição para a avaliação de arquiteturas elétricas ..	134
Tabela 26 - Agrupamento de Custo/Benefício para a avaliação de arquiteturas elétricas	135
Tabela 27 - Variação das taxas de substituição para a avaliação da sensibilidade do modelo adotado.....	136
Tabela 28 - Caso 1: Desempenhos locais e globais das alternativas apresentadas	143
Tabela 29 - Caso 1: Desempenhos locais e globais por área de interesse.....	143
Tabela 30 - Caso 1: Custo/Benefício das alternativas apresentadas	144
Tabela 31 - Caso 1: Estudo de sensibilidade com peso do critério Custo alterado em +10%	145
Tabela 32 - Caso 1: Estudo de sensibilidade com peso do critério Custo alterado em -10%	146
Tabela 33 - Caso 1: Sensibilidade: Comparativo dos valores de desempenho global obtidos	146
Tabela 34 - Caso 2: Desempenhos locais e globais das alternativas apresentadas	153
Tabela 35 - Caso 2: Desempenhos locais e globais por área de interesse.....	154
Tabela 36 - Caso 2: Custo/Benefício das alternativas apresentadas	154
Tabela 37 - Caso 2: Estudo de sensibilidade com peso do critério Custo alterado em +10%	155
Tabela 38 - Caso 2: Estudo de sensibilidade com peso do critério Custo alterado em -10%	156
Tabela 39 - Caso 2: Sensibilidade: Comparativo dos valores de desempenho global obtidos	157
Tabela 40 – Síntese das tarefas atribuídas a cada camada de comunicação ..	167

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Objetivo Geral	19
1.2 Objetivos Específicos.....	20
2 REVISÃO TEÓRICA.....	21
2.1 Arquitetura Elétrica.....	21
2.1.1 Definição de arquitetura elétrica	21
2.1.2 Histórico.....	26
2.1.3 Arquitetura elétrica atual	35
2.1.3.1 Principais sistemas veiculares.....	36
2.1.3.1.1 Distribuição de energia (EDS – <i>Electrical Distribution System</i>)	36
2.1.3.1.2 Powertrain	37
2.1.3.1.3 Segurança (<i>safety</i>).....	38
2.1.3.1.4 Conforto e conveniência.....	40
2.1.3.1.5 Informação e Entretenimento (<i>Infotainment</i>)	40
2.1.3.1.6 Telemática.....	41
2.1.3.1.7 Sistema de navegação	41
2.1.3.1.8 Sistemas <i>X-by-Wire</i>	41
2.1.3.2 Redes de comunicação	42
2.1.3.2.1 CAN.....	46
2.1.3.2.2 J1850.....	48
2.1.3.2.3 LIN.....	49
2.1.3.2.4 Protocolos Multimídia (D2B, Bluetooth, MML).....	49
2.1.3.2.5 MOST	50
2.1.3.2.6 Byteflight.....	51
2.1.3.2.7 FlexRay	51
2.1.3.2.8 TTCAN.....	52
2.1.3.2.9 TTP.....	52
2.1.3.2.10 TTP/C	53
2.1.4 Tendências de tecnologia da eletrônica embarcada.....	53
2.1.4.1 Eletrificação de sistemas convencionais e sistemas <i>X-by-wire</i>	53
2.1.4.2 Sistema de distribuição e controle de cargas	56
2.1.4.3 Evolução da arquitetura de redes	59
2.1.4.4 Integração de sistemas.....	65
2.1.4.4.1 Sistemas abertos e o AUTOSAR	67
2.2 Projeto de arquiteturas elétricas	69
2.2.1 Sistematização e cronograma básico do projeto de arquiteturas	69
2.2.2 Definição de visão do produto	77
2.2.2.1 Considerações de mercado.....	77
2.2.2.2 Considerações de engenharia.....	78
2.2.2.2.1 Evolução versus obsolescência	79
2.2.2.2.2 Estratégias de arquiteturas quanto ao reuso.....	80

2.2.2.2.3 Estratégias de arquiteturas quanto à modularidade e flexibilidade	82
2.2.2.2.4 Integração de sistemas	84
2.2.2.2.5 Metodologias de desenvolvimento	85
2.3 Mercados automotivos e a adequação de produtos e arquiteturas às suas necessidades	87
2.3.1 Mercados desenvolvidos	90
2.3.1.1 Perfil de consumo e características de produto em mercados desenvolvidos	92
2.3.1.2 Fatores determinantes na seleção da arquitetura em mercados desenvolvidos	92
2.3.2 Mercados emergentes	99
2.3.2.1 Perfil de consumo e características de produto em mercados emergentes	103
2.3.2.1.1 Veículos de baixo custo (<i>low-cost</i>)	103
2.3.2.1.2 Veículos obsoletos	105
2.3.2.2 Fatores determinantes na seleção da arquitetura em mercados emergentes	106
3 METODOLOGIA	114
3.1 Método da agregação aditiva	114
3.1.1 Função de valor	115
3.1.2 Taxa de substituição	115
3.1.3 Avaliação das alternativas	116
3.1.4 Análise de sensibilidade	117
3.2 Estudo de Caso	118
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DAS ARQUITETURAS ELÉTRICAS E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO SELECIONADOS	119
4.1 Critérios para seleção da arquitetura em mercados emergentes	119
4.1.1 Observações sobre os critérios para mercados emergentes e mercados desenvolvidos	126
4.1.2 Definição das funções de valor e descritores	128
4.1.3 Definição das taxas de substituição (pesos)	133
4.1.4 Taxas de substituição para análise de Custo/Benefício	135
4.1.5 Taxas de substituição para análise de Sensibilidade	136
4.2 Casos selecionados e aplicação dos métodos	137
4.2.1 Caso 1: Veículo de passeio <i>hatch</i> de baixo custo (popular)	137
4.2.1.1 Propostas selecionadas	138
4.2.1.2 Desempenho local e global das alternativas, de acordo com os critérios selecionados	142
4.2.1.3 Análise de Custo/Benefício	144
4.2.1.4 Análise de Sensibilidade	145
4.2.1.5 Discussão dos Resultados	147
4.2.2 Caso 2: Veículo de passeio sedan médio de luxo	147
4.2.2.1 Propostas selecionadas	148
4.2.2.2 Desempenho local e global das alternativas, de acordo com os critérios selecionados	153

4.2.2.3	Análise de Custo/Benefício.....	154
4.2.2.4	Análise de Sensibilidade.....	155
4.2.2.5	Discussão dos Resultados	157
5	CONCLUSÃO	158
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161
	APÊNDICE A – SOBRE OS PRINCIPAIS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO VEICULARES	166
	APÊNDICE B – EXEMPLO DE MATRIZ DE FUNÇÕES VEICULARES	187
	APÊNDICE C – EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE ARQUITETURA	192

1 INTRODUÇÃO

A globalização dos mercados provocou mudanças profundas na indústria automobilística nos últimos anos. Conforme Salerno (1), o automóvel é hoje um produto não configurável em seus termos básicos, apresentando uma arquitetura fechada, onde o consumidor pode escolher entre diferentes versões de motor e de opcionais, mas não é possível compor diferentes carrocerias com diferentes suspensões, motores, entre outros.

Veículos com plataformas únicas, centros de desenvolvimento globalizados, fornecimentos de escala mundial, componentes comuns, utilizados em diversas plataformas de veículos e tecnologias convergentes são alguns dos fatores da constante unificação de tecnologias que traz continuamente benefícios expressivos ao mercado automobilístico, tanto no que se refere ao custo como em disponibilidade de novas funções em todos os mercados simultaneamente. Reduzir custos significa aproveitar partes e ferramental já existentes, fazendo um carro novo no que é visível ao público, e igual a outros em suas partes invisíveis. E aí ganha força a política de compartilhamento de plataformas (1). A velocidade dos veículos de informação se encarrega de espalhar as novidades pelo mundo, diminuindo as distâncias físicas e culturais entre os povos, modificando a percepção e a exigência dos consumidores.

Diversas são as vantagens, mas não menos complexas são as conseqüências. Os mercados em desenvolvimento, por exemplo, cuja dinâmica sempre foi oposta à de mercados desenvolvidos, vivem um dilema.

Nos mercados emergentes, a tecnologia embarcada sempre foi associada a altos investimentos, custo final elevado e, por conseqüência, baixas vendas. Sua aplicabilidade sempre fora focada para o segmento luxo (*hi-end*). Segundo Salerno (1) para os carros tidos como populares, a estratégia empregada tem sido o *decontenting* (remoção de conteúdo tido como não essencial), além da utilização de design e opcionais desatualizados. Por esta razão a aplicação de novas tecnologias é postergada ao máximo, aproveitando o progressivo barateamento das tecnologias já consagradas e largamente utilizadas para sua disseminação nos nichos de mercado mais populares.

A barganha comercial em pedidos globais, devido ao enorme volume negociado, acaba se tornando mais vantajosa para toda a cadeia. Os fabricantes e grandes fornecedores automotivos, devido à escala mundial, conseguem melhores produtos, com preços mais baixos e alto giro de inventário. Isto tem causado, desde o final da década passada, uma grande concentração e internacionalização da indústria de autopeças, onde poucos grandes fornecedores relacionam-se diretamente com cada montadora, sendo que os outros passam a fornecer àqueles (1).

Porém, com a globalização, esta tática passa a ser um risco aos mercados emergentes. Os mercados emergentes possuem dinâmica diferente da verificada em mercados desenvolvidos, os quais contam ainda o maior volume de vendas e, até então, direcionam as tendências e tecnologias aplicadas aos veículos. Os mercados emergentes não conseguem acompanhar esta evolução. Evoluir se torna caro, pois o salto tecnológico passa ser cada vez maior. Componentes comuns e globalizados dentro de uma montadora têm sua aplicação limitada nestes mercados por incompatibilidade. Aumenta-se a dificuldade de encontrar parceiros, pois os grandes fornecedores, focados no mercado global que prima por preço, volume e tecnologia, abandonam a produção dos componentes ‘antigos’, com volumes reduzidos de venda, utilizados nos mercados emergentes.

Face ao crescimento da importância dos mercados emergentes e o aumento da competição entre as montadoras, a adequação das estratégias de produto a estes mercados torna-se necessária. Esta adequação, do ponto de vista da arquitetura elétrica veicular, será o ponto central deste estudo.

O estudo aborda e confronta dois temas em voga no meio automobilístico: os mercados emergentes, cujo crescimento expressivo do setor nos últimos anos tem chamado a atenção das principais fabricantes de veículos mundiais; e a eletrônica embarcada, responsável por grandes avanços tecnológicos no ramo e cada vez mais presentes nos veículos, independentemente do segmento de mercado.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo pretende estabelecer os principais critérios de escolha para a definição de uma arquitetura elétrica adequada a mercados emergentes, considerando as necessidades de mercado, de legislação e do custo/benefício de inovações, bem como novas funções a serem empregadas durante o ciclo de vida deste produto.

Em resumo, auxiliará na busca de respostas para a seguinte problemática: quais são os critérios a serem levados em conta na escolha de uma arquitetura elétrica veicular que una as características, necessidades e tendências de mercado emergente durante o ciclo de vida do produto?

O objetivo do trabalho é definir critérios que auxiliem na escolha de arquiteturas elétricas, possibilitando desta forma a implantação correta de uma tecnologia veicular que atenda os requisitos do veículo (necessidades do público alvo), que sejam viáveis nos mercados emergentes (com ênfase no mercado latino-americano) e que tenham sustentabilidade em médio prazo. Isto é, arquiteturas elétricas que tenham flexibilidade e expansibilidade suficiente para atender as oportunidades de mercado ao longo do ciclo de vida do veículo e que não se tornem obsoletas rapidamente, perdendo assim uma das principais vantagens do mercado global: a da barganha de componente em escala mundial.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho é focado nos seguintes aspectos e fatores:

- Definir o conceito de arquitetura elétrica e sua história e evolução;
- Conhecer seus principais subsistemas e componentes;
- Conhecer as principais tecnologias existentes no mercado e quais são as tendências mundiais da eletrônica embarcada;
- Conhecer quais os critérios de seleção de arquitetura utilizados nos mercados desenvolvidos;
- Conhecer como são hoje o mercado desenvolvido e o emergente, suas características e tendências;
- Conhecer as principais características das arquiteturas elétricas empregadas nos mercados emergentes;
- Determinar quais critérios devem ser empregados para o desenvolvimento de uma arquitetura para mercados emergentes;
- Aplicar estes critérios a possíveis arquiteturas, fazendo sua comparação e escolha através uma matriz de decisão.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 ARQUITETURA ELÉTRICA

Esta seção tem por objetivo mostrar o que é uma arquitetura elétrica, quais suas finalidades, conceitos, apresentar seus principais elementos (sistemas e componentes), além de introduzir um breve histórico sobre o tema, suas características atuais e tendências.

2.1.1 Definição de arquitetura elétrica

A definição de arquitetura elétrica se origina do significado de arquitetura de produto. Sua diferença em relação ao conceito de plataformas está relacionada à sua maior flexibilidade. Ainda que tenham objetivos semelhantes, tais como reduzir custos e permitir o lançamento de produtos com qualidade e em menos tempo, a estratégia de utilização de arquiteturas é ainda mais complexa e desafiadora, pois esta pode servir de base para um número muito maior de veículos do que uma plataforma (2).

A arquitetura elétrica é a responsável pela definição da alocação física e lógica da eletrônica embarcada, suportando as necessidades mercadológicas, técnicas e comerciais estabelecidas pela montadora.

De forma ampla, Pedro Manuchakian (3) define arquitetura de produtos como um conjunto de subsistemas e interfaces que formam uma estrutura comum, a partir da qual podem ser desenvolvidos e produzidos uma série de produtos derivados.

Conforme Ulrich e Eppinger (4), a arquitetura de produtos é o esquema pelo qual as funções de um produto são alocadas nos seus componentes físicos e como estes devem interagir.

Seguindo o mesmo pensamento, Hodges (5) afirma que a arquitetura é o esquema de arranjo de elementos funcionais, seu mapeamento em componentes físicos e a especificação de suas interfaces em relação aos outros componentes físicos com os quais possui interação.

Armstrong (6) complementa esta definição sob o ponto de vista sistêmico, dizendo que, além de ser o esquema de arranjo de componentes de um sistema, a arquitetura descreve também as funcionalidades e características que serão seguidas por todo o projeto e explica o relacionamento entre as partes do sistema.

Diz ainda que a arquitetura pode ser bastante útil para categorização e eliminação de alternativas.

Esta noção fundamental de arquitetura leva à definição de outros dois conceitos: a arquitetura funcional e a arquitetura física.

Conforme Levis (7), a arquitetura funcional é um conjunto de atividades ou funções, arranjadas de tal forma que, quando ativadas, atendem o conjunto de requisitos. Similarmente, a arquitetura física é a representação dos recursos físicos, expressos como nós (ou módulos), que constituem o sistema e sua conectividade, expressa na forma de ligações entre estes nós. Ela é o conjunto mínimo de regras que regem o arranjo, interação e interdependência dos elementos ou componentes envolvidos.

Ambas as definições devem ser interpretadas de forma abrangente, cobrindo uma ampla gama de aplicações. Além do mais, cada elemento destas arquiteturas necessitará de múltiplas representações (ou vistas) para descrever todos os seus aspectos.

A arquitetura é, portanto, a estrutura básica de onde as especificações técnicas de engenharia serão derivadas, guiando a implementação do sistema (7).

Corroborando a idéia de Levis, Maier e Rechtin (8) destacam ainda que o produto 'arquitetura' é uma representação ou um conjunto de figuras abstratas que representam o sistema. Esta representação normalmente não está pronta para uso, no intuito de se construir algo a partir daí, devendo ser refinada, como ocorre na arquitetura civil, com suas plantas de elevações, plantas-baixa, e todo o conjunto de desenhos de construção. A arquitetura também não é somente uma representação física, pois deve cobrir aspectos da estrutura física, comportamental, de custo, desempenho e outros elementos necessários para esclarecer e salientar as prioridades exigidas e desejadas pelo cliente, seja ele o consumidor, fornecedor ou a própria montadora.

Isso significa dizer que a arquitetura elétrica estabelece o conceito dos sistemas, interfaces, estratégias de produção e tecnologias empregadas em dada aplicação, onde sua representabilidade será definida e mostrada de acordo com a necessidade da análise (ou tomada de decisão) a ser realizada e com a fase de desenvolvimento do projeto. Isto é, uma vez definido o conceito da arquitetura elétrica, de forma

“macro”, esta arquitetura será então detalhada em seus mínimos detalhes ao longo do projeto, surgindo assim, as especificações técnicas dos seus componentes, módulos, interfaces de comunicação e documentação de redes de comunicação e software.

Estas definições são aplicáveis às arquiteturas elétricas veiculares, como mostram Rushton e Merchant (9) quando afirmam que a arquitetura e o particionamento de sistemas elétricos e eletrônicos de veículos definem as funções requeridas e as entidades físicas (módulos) em um veículo. A arquitetura dos sistemas eletro-eletrônicos de um veículo define o número de módulos eletrônicos, as funções atribuídas a cada módulo e as interfaces elétricas entre estes módulos, em termos de (10):

- Relações e interconexões de subsistemas e componentes;
- Interfaces para outros sistemas;
- Características do meio em torno deste sistema;
- Fluxos de dados no sistema;
- Arquiteturas de software e dados.

Apesar de essencialmente transparente para o usuário, o sistema elétrico é o sistema nervoso do automóvel. É a tecnologia fundamental para a introdução de muitas inovações no veículo, ou para o aprimoramento de outras já existentes, tornando-as mais efetivas e complexas, fazendo com que praticamente todas as funções no veículo sejam comandadas ou monitoradas por sistemas eletrônicos (10).

O sistema elétrico tem importância fundamental na definição do conteúdo de um veículo, influenciando diretamente seu posicionamento mercadológico, mesmo quando transparente ao consumidor, devido à sua contribuição na relação custo/benefício do produto final (sua participação chega a 20% do custo total do veículo (11)), principalmente quando se trata de estratégias de reuso de conceitos e componentes entre plataformas de veículos globais, e ao seu valor agregado, como em sistemas de segurança e *infotainment* (10).

O engenheiro de arquiteturas elétricas tem, portanto, o papel de definir o conteúdo elétrico do veículo, sob os pontos de vista funcional, elétrico e mecânico, levando em consideração as características ambientais, EMC (interferência eletro-magnética), de tecnologias de comunicação e de fluxo de informações, respeitando ainda estratégias de compatibilidade, de reuso e de marketing (12).

Seu trabalho inicia-se com o recebimento dos dados básicos de projeto definidos por Marketing, Vendas, de Legislação e de conceituação do veículo, estabelecidos pela Engenharia Avançada (desde estratégias de reuso à utilização de soluções e componentes específicas devido a alguma restrição física ou de alocação do veículo-conceito).

Estes dados são, basicamente, os requisitos de conteúdo funcional do veículo, suas variações de carroceria e de propulsão, seus pacotes de opcionais e funções básicas, penetração de mercado de cada função e de cada variação de modelo, além de objetivos de projeto tais como: metas de qualidade, custo, e de posicionamento de mercado, através de avaliações comparativas (*benchmark*) (13).

Estas informações podem ser apresentadas através de um documento descritivo ou em forma de uma matriz, agrupada por mercado ou por tipo de veículo (13). Um exemplo desta matriz pode ser visto no Apêndice B.

Através destas informações, os principais sistemas e agrupamento de funções poderão ser definidos, além da escolha das tecnologias de rede mais adequada para tais grupos e sistemas. Com as definições do veículo conceito, as técnicas de particionamento e de distribuição de alimentação poderão ser determinadas. Ao final deste processo, diversas hipóteses de arquiteturas elétricas serão elencadas e comparadas, para que ao fim do processo, uma arquitetura seja escolhida e então detalhada, executada e testada durante todo o ciclo do projeto, até a produção do veículo (13).

A Figura 1 (11) mostra um exemplo de topologia de uma arquitetura elétrica formada por diversas redes (configuração multi-rede). Neste caso, a topologia dá ênfase ao arranjo das redes seriais (representada pelas linhas que conectam as diversas caixas), mostrando seus principais módulos e componentes, representados na figura através de caixas, e como estes estão agrupados. Existem exemplos de topologia mais completos onde é possível visualizar a distribuição física dos módulos e

identificar também a alocação dos principais chicotes elétricos do veículo, também indicados por linhas. Exemplos assim serão vistos com mais detalhes ao longo deste trabalho.

Figura 1 - Exemplo de topologia de arquitetura moderna (11)

Existem hoje duas visões de desenvolvimento de arquiteturas, também observadas em projetos de famílias de produtos (14):

- Visão *top-down* (ou proativa), na qual a arquitetura é estrategicamente desenvolvida baseada na visão sistêmica de plataforma de produto, ganhando rapidez no desenvolvimento de produtos e derivados, a um custo menor;
- Visão *bottom-up* (ou reativa), na qual a arquitetura é desenvolvida baseada na utilização de elementos (componentes ou módulos) já consolidados ou padronizados, para daí chegar ao conceito do sistema, reduzindo custos através da economia de escala.

Atualmente o desenvolvimento de novas arquiteturas está migrando da visão orientada pelo componente (*bottom-up*), com uma participação e influência ativa de montadoras e fornecedores que favorece o desenvolvimento de soluções locais e proprietárias, para a visão sistêmica (*top-down*), onde a arquitetura veicular define o

número de módulos eletrônicos, as funcionalidades e requisitos físicos de cada módulo e suas interfaces (9; 10).

2.1.2 Histórico

De acordo com Johnston (15), a evolução dos sistemas elétricos veiculares pode ser dividida em diversos períodos, partindo do surgimento do automóvel até os dias de hoje.

Até 1912, o sistema se resumia à ignição, onde diversos métodos de ignição foram testados desde o final do século XIX, abordando sistemas com chama-piloto, depois com tubos aquecidos até sistemas com filamentos em altas temperaturas. Porém, estes sistemas eram insatisfatórios, devido ao tempo de ignição ser demasiadamente variável (15).

Figura 2 - Magneto de baixa tensão (esq.) e Starter com acoplamento mecânico (dir.) (15)

Um sistema satisfatoriamente estável foi alcançado com o advento do sistema de centelhamento simultâneo nos cilindros através de uma vela em cada câmara de combustão, com tensão de ionização de cerca de 20 kV, tensão esta obtida através de um sistema composto por um gerador de corrente alternada chamado magneto, podendo ser de alta tensão ou de baixa tensão (Figura 2 (15) quando associado com um transformador, em conjunto a uma bateria de 6 V, composta por células secas descartáveis ou recarregáveis de chumbo-ácido, acondicionada em uma caixa de madeira, para ser possível a partida a frio manual.

Figura 3 - Esq.: Sistema de ignição por interrupção de circuito interno ao cilindro. Dir.: Trembler ignition coil (15)

O Ford T utilizava um sistema diferenciado, ilustrado pela Figura 3 (15), utilizando um sistema individual de contatos vibratórios acionados pelo campo magnético da bobina de ignição (chamadas de *trembler coil*), energizado por um magneto de baixa tensão e alta corrente. Estes contatos interrompiam o circuito elétrico, formando faíscas na vela até que toda a energia armazenada na bobina fosse descarregada – o que melhorava consideravelmente as partidas a frio, pois garantia a queima efetiva do combustível na câmara (16).

Figura 4 - Sistema de ignição Katterring (15)

Em 1908, surgiu o *Sistema Katterring ou Delco* (16) (*single spark, breaker-type system*), ilustrado pela Figura 4 (15), que dispensava o uso do magneto. Este sistema utiliza a “alta tensão” que se forma quando o circuito elétrico é interrompido. A abertura/fechamento é sincronizada pelo próprio comando de válvulas associado a

um distribuidor (chave comutadora das velas de ignição), eliminando o problema de sincronismo existente nos sistemas anteriores.

Com a substituição das lâmpadas de querosene ou acetileno por lâmpadas incandescentes, o sistema de iluminação passou a ser parte integrante do sistema elétrico, cuja carga subiu de 60 A.h para 120 A.h.

Até então, não havia ainda nenhum tipo de alternador destinado à recarga da bateria. Esta operação ficava por conta do usuário, que deveria recarregá-la periodicamente. Por este motivo era dada grande importância à conservação de energia pelos sistemas elétricos (15).

O ano de 1912 foi um divisor de águas para os sistemas elétricos, com a introdução do sistema elétrico de partida automática, construído pela Cadillac Motors. Este invento teve um grande impacto positivo na conveniência e aceitação do automóvel por parte do consumidor (15), pois colocava um fim à exaustiva e perigosa partida manual via manivela. Sua arquitetura elétrica pode ser vista na Figura 5 (15).

Figura 5 - Arquitetura elétrica de um Cadillac 1912 (15)

Este sistema inovador contava com enrolamentos distintos para as funções de partida e centelhamento, operando em regime contínuo e em uma larga faixa de velocidade, o que possibilitava não só a partida a frio do veículo, como também

atender a demanda de energia dos sistemas de ignição e iluminação, além de manter a bateria carregada, surgindo aí a função de gerador, ou alternador. Este recarregamento automático da bateria possibilitou o surgimento de outros sistemas embarcados, como o sistema de áudio (apesar de sérios problemas de interferência eletromagnética gerados pelas velas de ignição).

O impacto desta invenção foi tão grande que, em apenas dois anos, 90% dos veículos produzidos nos Estados Unidos já contavam com o sistema. Estes sistemas utilizavam motores de partida e alternadores muitas vezes integrados (utilizavam o mesmo eixo) ou combinados (duas máquinas independentes), mostrados na Figura 6 (15).

Figura 6 - Configuração motor/gerador integrado (A) e sistema combinado, com máquinas independentes (B) (15)

Como o sistema de geração trabalhava com uma variação de rotação proporcional à faixa de rotação do motor, reguladores de tensão, primeiramente mecânicos, foram adicionados no sistema para que a tensão fosse compatível com a tensão de recarga da bateria. Logo estes sistemas foram substituídos por sistemas elétricos, compostos por uma terceira escova entre as escovas positiva e negativa, causando um distúrbio magnético que limitava a saída do gerador, e por relés sensíveis à tensão e à corrente, aumentando a “precisão” do sistema (15).

Com a terceira escova, a saída do alternador poderia ser reduzida durante uma viagem longa e aumentada durante o uso urbano. Ainda que, na prática, os usuários se esquecessem deste recurso (a regulação era feita manualmente pelo condutor), tornou-se comum encontrar baterias sobrecarregadas (e superaquecidas) durante viagens e baterias arreadas no uso urbano (16). Havia ainda um relé que impedia que a carga da bateria fosse drenada pelos enrolamentos do gerador quando este estivesse fora de uso.

Nos anos 30, reguladores de tensão eletromecânicos reduziram os problemas relacionados ao controle do alternador. Porém, como o alternador funcionava apenas em rotações superiores a 1000 rpm, muitos usuários urbanos ainda sofreram com baterias descarregadas (16).

Diversos aprimoramentos foram introduzidos nas décadas seguintes, juntamente com o aumento do tamanho dos motores. Naquela época, os veículos já possuíam alternadores independentes assistidos por correia. Os motores V8, que ficavam cada vez mais populares, exigiam sistemas elétricos mais “potentes”. Foi então que, em 1955, a General Motors introduziu no mercado o primeiro sistema elétrico em 12V, padrão seguido por todas as outras montadoras desde então.

Conforme Hartzell (17), as principais vantagens do sistema em 12V seriam:

- Melhor resposta do alternador: em baixas rotações, o sistema em 12V minimiza os efeitos de reação da armadura além de possibilitar um aumento na potência máxima de saída de até 33% (conforme Figura 7 (17)), melhorando a eficiência do alternador em baixas velocidades;

Figura 7 - Curva de desempenho de um alternador em 6V e 12V (17)

- Melhor desempenho para partida a frio: exigência do mercado por partidas rápidas independentemente das condições climáticas. A melhoria do desempenho para o sistema 12 V pode ser visto na Figura 8 (17), onde fica claro a maior rotação alcançada na partida pelo sistema 12 V em qualquer faixa de temperatura.

Figura 8 - Curva de rotação (entregue pelo sistema de partida) pela temperatura externa em sistemas de 6V e 12V (17)

- Melhor desempenho da ignição: com a redução da corrente, diminuem os problemas com oxidação das velas (Figura 8 (17)), reduzindo por sua vez os impactos negativos da variação de temperatura e rotação do motor;

Outra consequência positiva do sistema em 12V foi a possibilidade em reduzir a bitola dos cabos utilizados e conseqüentemente seu peso, em até 50% (16). O contraponto foi o aumento das dimensões das baterias para este sistema, em torno de 5% e redução na capacidade de armazenamento em 30% (17).

As melhorias nos sistemas elétricos prosseguiram nas décadas de 60 e 70. Apesar de seus fundamentos se manterem os mesmos, diversas melhorias foram introduzidas, como o motor de partida (*starter*) com acoplamento eletro-mecânico e relação interna entre engrenagens reduzida, como adotado pela Chrysler (Figura 9 (15)), possibilitando a redução de suas dimensões, assim como seu peso (15).

Figura 9 - Motor de partida com relação reduzida de engrenagens (Chrysler) (15)

As maiores mudanças naquela época foram observadas nos alternadores, onde sistemas de retificação a diodos, introduzidos em 1961 pela Chrysler, possibilitaram o aumento das cargas elétricas nos veículos, o qual foi a real demanda por trás desta inovação (15).

Conforme Johnston (15), enquanto em 1960 os sistemas elétricos consumiam tipicamente 500 W, no final da década de 80 este consumo já era de 1500 W em carros topo-de-linha. No final dos anos 50, a Delco-Remy havia introduzido reguladores eletrônicos de tensão utilizando ponte de diodos retificadores de alta potência. Além do aumento da potência, estas mudanças diminuíram significativamente a manutenção destes sistemas, aumentando a vida útil dos componentes envolvidos, como por exemplo, as escovas do alternador.

Nos anos 60, junto com o surgimento das baterias seladas (*maintenance-free battery*) apareceram os primeiros sistemas de ignição transistorizados. Surgiu também o ar-condicionado, que se tornou popular nos anos 80 (18). A micro-eletrônica foi conquistando seu espaço nos sistemas automotivos desde então, onde outros sistemas elétricos surgiram em decorrência destas melhorias, como sistemas de direção hidráulica e de suspensão (15).

Em 1977, o primeiro sistema eletrônico de ignição controlado por um microprocessador foi introduzido pela Delco-Remy no Oldsmobile Tornado. Os microprocessadores possibilitaram a inclusão de uma extensa gama de funcionalidades, como um controle com maior precisão de detonação, sistemas de

EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) e diversos benefícios ao motor, como a redução na emissão de poluentes e consumo (15). A Figura 10 (19) mostra a relação entre o aumento do uso de semicondutores e a diminuição das emissões e do consumo.

Figura 10 - Aplicações eletrônicas em *Powertrain* (19)

Já os anos 80 marcaram a entrada dos módulos eletrônicos veiculares ou ECUs (*Electronic Control Units*), consequência de leis de emissões mais severas, que tornavam imprescindível um controle preciso das funções do motor. Estes módulos são responsáveis pelo processamento em tempo real dos sinais analógicos e digitais provindos de sensores, como impulsos de rotação de um sensor Hall, e transdutores, como sensores analógicos de temperatura, pressão, ou uma sonda lambda. Em seguida, os sinais processados são enviados ao processador lógico do módulo reduzindo o tempo de interrupção de resposta deste quando comparado a um módulo que utilize um único processador para processo de aquisição e lógica. Nele estão os algoritmos de controle e regulação de cada função do módulo, que determinarão os valores de saída enviados aos atuadores e a outros módulos relacionados (20). A Figura 11 (20) mostra este processo:

Figura 11 - Processamento do sinal em uma ECU (20)

Um módulo eletrônico de controle do motor, ou ECM (*Engine Control Module*) passava então a ser empregado no controle das funções relacionadas ao motor, como partida, injeção de ar e combustível, rotação de marcha lenta e emissões, substituindo inclusive o carburador (16). Nela, um grande número de transdutores foi empregado para converter grandezas físicas (velocidade, temperatura, pressão, entre outros) em sinais elétricos interpretados por seus microprocessadores, como os sensores de velocidade, posição angular do comando de válvulas e virabrequim, posição do acelerador, sensores de pressão, temperatura e de oxigênio (21).

O avanço da eletrônica embarcada nesta época também foi sentido no painel de instrumentos. Dos poucos e rudimentares instrumentos vistos até então, basicamente cronômetro (relógio mecânico de mola) e velocímetro no início do século, seguido por medidores de óleo, temperatura, nível de bateria e combustível, o painel de instrumentos evoluiu para sistemas eletrônicos digitais, com displays multicoloridos de lâmpadas e tubos de raios catódicos, até evoluir para os LEDs (diodos emissores de luz) e LCD (*Liquid Crystal Display*), com diversas funções agregadas (22).

No início, os sistemas eletrônicos embarcados executavam suas tarefas de forma totalmente autônoma. Desde então ficou claro que, através de aplicações coordenadas entre diversos módulos, poder-se-ia aumentar imensamente a

funcionalidade dos veículos. Esta foi a motivação para a criação de sistemas de comunicação integrados em automóveis (23).

2.1.3 Arquitetura elétrica atual

Por ter um desempenho superior aos sistemas mecânicos e hidráulicos convencionais e pela crescente necessidade de oferecer mais conforto, segurança, conveniência, entretenimento e menor impacto ao meio ambiente (24), o uso de módulos de controle não se limitou somente ao controle do motor. Hoje em dia existe uma enorme gama de aplicações de módulos eletrônicos para funções relacionadas a chassis e carroceria, como sistemas de freio autoblocante (ABS), sistemas de segurança (*airbag*), além de sistemas de antifurto e de entretenimento.

Figura 12 - Número de módulos eletrônicos (ECU) por veículo em mercados desenvolvidos (25)

Conforme Mayer (23), a participação de componentes eletrônicos nos veículos aumenta ano após ano. A Figura 12 (25) mostra como este crescimento tem acelerado nos últimos vinte anos. A eletrônica tem um papel decisivo, não só satisfazendo os desejos dos consumidores quanto à maior segurança e conforto ao se dirigir, mas também aumentando a economia de combustível e reduzindo emissões.

O fenômeno de “eletrificação” de sistemas tipicamente mecânicos também é um dos responsáveis pelo aumento de carga elétrica nos veículos (24). Alguns destes sistemas podem ser encontrados atualmente em veículos de luxo e suas cargas serão vistos na Tabela 1 (18):

Tabela 1- Novas cargas elétricas disponíveis em veículos topo-de-linha (previsão 2005)

Sistema	Pico de Carga (W)	Carga média (W)
Válvulas eletromecânicas	2.400	800
Bomba d'água	300	300
Ventilador de refrigeração do motor	800	300
Direção elétrica	1.000	100
Pára-brisa aquecido	2.500	200
Conversor catalítico pré-aquecido	3.000	60
Suspensão ativa	12.000	360
Computação embarcada, navegação		100
Média Total		2.220

Fonte: (18)

As evoluções neste campo não pararam. Analistas estimam que hoje mais de 80% das inovações automotivas vêm da área eletrônica (11).

Atualmente, o sistema elétrico corresponde a até 20% do custo total do veículo, passando de 23% em veículos de luxo (11). Os chicotes elétricos podem chegar a pesar mais de 40 kg, possuir mais de 300 conectores e ter mais de quatro quilômetros de comprimento em um carro de alto luxo, que em 1955 eram apenas 45 metros (11). Sua evolução foi direcionada principalmente pelas solicitações dos consumidores e órgãos regulatórios no que diz respeito à economia de combustível, controle de emissões, conforto, segurança e dirigibilidade.

2.1.3.1 Principais sistemas veiculares

Das inúmeras aplicações eletro-eletrônicas existentes hoje, algumas merecem destaque, seja por sua larga utilização no mercado, seja pelo benefício a ela associado. Estas aplicações, agrupadas em sistemas, são elencadas a seguir (19):

2.1.3.1.1 Distribuição de energia (EDS – *Electrical Distribution System*)

Sistema pioneiro no mundo automotivo, este é ainda um sistema fundamental para a elétrica e eletrônica embarcada. Fazem parte deste sistema o alternador, bateria, fusíveis, relés, conectores, interfaces e chicotes elétricos que distribuem a energia para todos os sistemas e componentes elétricos, conforme a arquitetura elétrica adotada (9).

Sua arquitetura de alimentação é ponto-a-ponto e diretamente chaveadas, exemplificada pela Figura 13 (18). Cargas que são controladas através de diversas localidades, como um sistema de travas e vidros elétricos, utilizam um relé. Para

manter sua integridade mecânica, a bitola de cabos mínima empregada é a de $0,35\text{mm}^2$ (AWG 22).

Figura 13 – Arquitetura elétrica de um sistema de distribuição de energia atual em 12 V (18)

Apesar de a tensão nominal dos sistemas atuais ser em 13,5V, esta tensão pode oscilar entre 6V e 15V dependendo das cargas consumidoras, temperatura ambiente, estado de carga e de uso da bateria. Portanto, todos os componentes desenvolvidos para este sistema devem estar preparados a trabalhar nesta mesma faixa de tensão. As consequências desta variação são: altas perdas em escovas de motores 12V e altas taxas de falha em conectores (24).

2.1.3.1.2 Powertrain

Sistema que engloba as funções relacionadas a motor, câmbio e diferencial. Primeiro e mais difundido sistema veicular, aquisita e controla parâmetros físicos como temperatura, pressão, velocidade através de sensores e atuadores, tendo seu processamento feito pelo ECM (*Engine Control Module*) aumentando o desempenho do motor, reduzindo também os níveis de consumo e de emissões.

Os principais subsistemas gerenciados pelo ECM são a ignição, o controle da mistura ar-combustível, a injeção, o arrefecimento do motor e de escapamento, além da supervisão dos subsistemas de lubrificação, emissões (EGR), turbo e sobrealimentação, demais sistemas de carga mecânica (ar-condicionado) e de diagnóstico, incluindo diagnóstico *on-board* (OBD) (20).

Uma evolução neste sistema é o controle eletromecânico de válvulas, onde este sistema substitui o comando mecânico, sincronizado com o virabrequim através de

uma correia. Com o sistema eletromecânico, o tempo de abertura das válvulas passa a ser uma variável controlável através da ECM, otimizando assim seu funcionamento de acordo com a rotação do motor, torque, temperatura, e seu comportamento durante a partida a frio entre outros, também incluindo o controle de válvulas como parte do sistema de controle de emissões (20).

2.1.3.1.3 Segurança (*safety*)

São sistemas que objetivam a segurança e bem estar tanto dos ocupantes do veículo, dos pedestres e demais pessoas que estejam próximas a ele, não devendo ser confundido com sistemas antifurto. Os sistemas de segurança são subdivididos em ativos, quando a intenção é evitar acidentes, e passivos, quando a intenção é minimizar os efeitos do acidente iminente (11).

Os principais sistemas passivos são (11; 20):

- Airbag: Sistema em que bolsas são infladas imediatamente (cerca de 30ms) após uma colisão, protegendo os ocupantes do veículo. Podem ter um ou mais estágios de acionamento;
- Detecção de ocupante (*OcD*): atuando juntamente com o Airbag, este sistema detecta a presença de um adulto ou criança no banco de passageiros, acionando adequadamente o airbag;
- Monitoramento de pressão dos pneus (TPMS – *Tire pressure monitoring system*): monitora a pressão dos pneus através de sensores em cada roda, que se comunicam com o módulo de controle via rádio-frequência, alertando o motorista quando estes atingem um valor abaixo do especificado;
- Verificação de proximidade (*proximity checking*): espécie de radar que identifica a proximidade de obstáculos do veículo, útil principalmente em manobras de estacionamento.

Os principais sistemas ativos são (11; 20):

- ABS (*antilock braking system*): evita o travamento das rodas através do monitoramento constante da velocidade em cada roda. Quando alguma delas tem velocidade próxima à zero, a pressão do fluido de freio é modulada de

forma a manter a roda no limiar do travamento, possibilitando assim frenagens em menor espaço e aumentando a dirigibilidade do veículo;

- EBA (*emergency brake assistance*): similar ao ABS, o sistema detecta a intensidade em que o pedal do freio foi acionado e a velocidade em que o veículo se encontra, antecipando a frenagem aplicando pressão extra aos freios;
- EBD (*electronic brake distribution*): também similar ao ABS, distribui a pressão dos freios aplicada a cada roda, aumentando a estabilidade e dirigibilidade do veículo;
- EHB (*electro hydraulic brakes*): sistema autônomo de freios que, mesmo sem a intervenção do motorista, aplica os freios em cada roda com o intuito de aumentar a estabilidade do veículo;
- EMB (*electro mechanical braking*): evolução do EHB, o EMB possui sistema tolerante a falhas, contando com sistemas redundantes de alimentação e sem a utilização do sistema de pressão do fluido de freio;
- TCS e ASR (*traction control system e acceleration slip regulation*): o ASR evita o excesso de tração nas rodas nas acelerações, evitando assim a perda de aderência. Já o TCS, atuando juntamente como ABS e ASR, evita também a perda de aderência dos pneus;
- ESP (*electronic stability program*): evita a perda de aderência que causa as saídas laterais em curvas, através da análise do ângulo da direção e aceleração das rodas, corrigindo a trajetória do veículo.

A Figura 14 (11) mostra o acentuado crescimento das funções de segurança nos últimos 50 anos e suas tendências para os próximos 10 anos (11).

Figura 14 – Evolução das aplicações em sistemas de segurança ativos e passivos (11)

2.1.3.1.4 Conforto e conveniência

Os principais sistemas relacionados à automação de funções da carroceria são (11):

- Módulo de iluminação: controle de intensidade de iluminação de acordo com as preferências do usuário e condições ambientes;
- Ar condicionado eletrônico: aumentam o conforto interno, além de diminuir o consumo de combustível e aumentar sua eficiência. Pode ter ajuste individual de temperatura para cada ocupante (zonas climáticas).

2.1.3.1.5 Informação e Entretenimento (*Infotainment*)

Fazem parte desta categoria (11; 20):

- Painel de instrumentos: ao longo da evolução veicular, ganhou importância, integrando um maior número de funções, podendo hoje atuar até como um “gateway” das diversas redes de comunicação existentes em um veículo;
- Sistema de áudio: além do aumento de sua robustez, hoje os sistemas de áudio interagem com diversas fontes de dados (e não somente de rádio, tanto

analogico como digital), como tocadores de CD e memórias externas (cartões de memória, *pendrives* entre outros), celulares e comandos de voz, lendo arquivos em diversos formatos (mp3, aac, wav entre outros), além de sistemas de informações como RDS (*radio data system*) ou TMC (*traffic message channel*), que oferecem informações adicionais para auxílio ao motorista;

- Sistema de vídeo: associados aos sistemas de áudio, o sistema de vídeo oferece aos ocupantes do veículo os recursos de TV, DVD e outros recursos de vídeo e imagens em diversos formatos (mov, jpeg, mpeg entre outros);

2.1.3.1.6 Telemática

Este sistema troca informações em tempo real entre o veículo e uma base externa sobre dados de diagnóstico do veículo, informando a criticidade de alguma falha existente e qual o local mais próximo para fazer o reparo ou acionar o resgate em caso de pane ou acidente. Normalmente utilizam o sistema de telefonia celular (GSM, GPRS ou CDMA) para esta comunicação e GPS para localização do veículo (11; 20).

2.1.3.1.7 Sistema de navegação

Muito similar ao sistema de telemática (ao qual trabalha em conjunto), este sistema oferece o posicionamento do veículo através de um receptor GPS (*global position system*) e sua localização através de mapas digitais (do tipo GDF – *geografic data files*), o que permite a navegação propriamente dita, isto é, a determinação de rotas, caminhos alternativos e o acesso a diversas outras informações pertinentes como pontos de interesse (postos de serviço, restaurantes, pontos turísticos, centros comerciais etc.), horários de funcionamento de estabelecimentos e transporte alternativo (como ônibus e trens) (11; 20).

2.1.3.1.8 Sistemas X-by-Wire

Embora o conceito não seja novo, que por definição é todo e qualquer sistema acionado eletricamente via fios ou cabos (como uma simples buzina, por exemplo), sua aplicação tem se sofisticado a cada dia (um exemplo pode ser visto na Figura 15). Atualmente, sistemas considerados *x-by-wire* são aqueles que substituem tradicionais sistemas de acionamento mecânico, hidráulico ou pneumático (como

sistemas de suspensão, direção e freios), por sistemas elétricos dinamicamente configuráveis, auto-dagnosticáveis e de fácil adaptação em diferentes plataformas veiculares (11; 20).

Além de eliminar bombas, correias, colunas de direção e seus nocivos fluídos, oferecem maior precisão de acionamento e confiabilidade superior aos sistemas tradicionais, tornando os veículos mais leves, seguros e econômicos (menor consumo de combustível) (11). A Figura 15 (26) mostra um exemplo de sistema deste tipo:

Figura 15 – Exemplo conceitual de uma aplicação Steer-by-Wire (26)

Estes sistemas são bastante utilizados atualmente, em aplicações *gas-by-wire* (como no caso da injeção eletrônica de combustível, acelerador eletrônico ou *turbo-charger* elétrico), *power-by-wire* (como sistemas de partida e parada automático – *stop-go*, freio regenerativo e *torque booster*), *shift-by-wire* (como os diversos sistemas de automação de caixas de câmbio), *brake-by-wire* (sistemas como ABS, TCS, EBD, EHB e ESP), *steer-by-wire* (sistema de direção) e ainda *suspension-by-wire* (sistemas de ajuste de suspensão) (26).

2.1.3.2 Redes de comunicação

A complexidade dos sistemas veiculares cresceu juntamente com a necessidade de um número cada vez maior de informações sobre o veículo – que, em muitos casos, serão utilizadas por mais de um componente ou sistema veicular. Espalhadas pelos diversos sistemas veiculares, estas informações são compartilhadas através de redes de comunicação e possibilitaram o surgimento de diversas funções e tecnologias nos automóveis (11).

A comunicação serial multiplexada é um dos métodos utilizados para criação destas redes. Em comparação com os sistemas ponto-a-ponto (discretos), este método tem como vantagens (11):

- Redução da quantidade de cabos e componentes dedicados para cada função, diminuindo a complexidade dos chicotes elétricos;
- Aumento da confiabilidade e eficiência do sistema eletrônico (menor número de conectores representa menor susceptibilidade a falhas (19; 23));
- Diminuição do peso e do volume do conjunto eletro-eletrônico (27);
- Aumento da quantidade de tipos de dados compartilhados entre os vários componentes de um veículo (28).

Eles também trouxeram consigo desafios ao seu desenvolvimento (26), como:

- Sincronização entre os componentes e módulos que utilizam a rede, também chamados nós;
- Garantia do endereçamento e a transmissão dos dados em tempo hábil;
- Necessidade de comunicação serial confiável, devido ao ambiente deteriorante em que se encontram, correspondendo a fatores mecânicos, térmicos, químicos e de natureza eletromagnética.

Aplicações elétricas automotivas são hoje baseadas em arquiteturas distribuídas, que podem conter diversos módulos eletrônicos (ECUs) comunicando via um ou mais protocolos de comunicação, onde cada componente (ou nó) é conectado ao barramento de dados do respectivo protocolo. Os dados coletados por um nó que também possam ser úteis para outros nós (como velocidade das rodas, rotação do motor, pressão de óleo, etc.) são transmitidos ao barramento, onde os outros nós poderão aquisitá-los (20).

As redes de comunicação possuem diferentes características (velocidades, tipos de dados e protocolos) para diferentes aplicações e podem ser utilizadas simultaneamente no veículo, interligadas através de “portas” (*gateways*), formando assim a arquitetura de rede (20).

Surgiram, nos últimos anos, projetos de barramentos e protocolos específicos para este fim, buscando a sua padronização para maior facilidade e comodidade, no caso

de uma atualização destes sistemas através da substituição do dispositivo antigo por outro mais avançado. Esta padronização minimiza os impactos causados pela grande diferença existente entre o ciclo de vida dos componentes e equipamentos multimídia, geralmente de vida bastante curta, chegando a alguns meses em casos extremos, e o ciclo de vida de veículos, em torno de 10 anos (20).

Do ponto de vista de arquitetura (Figura 16 (20)), existem quatro áreas distintas de aplicação (20):

Arquitetura da Rede de Comunicação

Figura 16 – Arquitetura da rede veicular (20)

Subsistemas relacionados ao entretenimento e multimídia: As aplicações multimídia, baseadas em conexão com sistemas móveis de navegação, telefonia e/ou acesso a internet possuem taxa de transferência de dados típica de 125 kbit/s para controle de componentes. A transmissão direta de dados de áudio e vídeo (*streaming*) exige taxas entre 10 Mbit/s a 100 Mbit/s.

Subsistemas relacionados ao motorista e carroceria: Engloba tipicamente as funções que têm interface direta com o motorista e com os demais ocupantes do veículo. Portanto, os dados podem ser processados em velocidades menores, o suficiente para atender o tempo de resposta humano (em torno de 100 ms) (29). As principais funções são o controle de vidros, portas e retrovisores, o controle climático e conforto em geral, a iluminação interna e externa, controles dos bancos e controles

de limpador e lavador de vidros. Estas aplicações apresentam taxas de transmissão entre 1 kbit/s e 125 kbit/s.

Subsistemas relacionados ao propulsor e à dinâmica do veículo: Neste caso o processamento de dados precisa ser rápido para suportar os controles dinâmicos e altos desempenhos solicitados. Aplicações em tempo real interligam sistemas de propulsão e dinâmica do veículo (controle de tração e movimento do veículo) como motor, transmissão e alguns sistemas de estabilidade, segurança e sistemas *x-by-wire*. Suas taxas de transmissão ficam entre 125 kbit/s a 1 Mbit/s.

Diversos protocolos de comunicação, combinando os fatores aplicação, velocidade e custo, foram desenvolvidos para atender as necessidades do mercado automotivo. Enquanto alguns destes protocolos são soluções proprietárias (isto é, disponíveis somente para a empresa que o desenvolveu), outros foram desenvolvidos com o objetivo de serem utilizados por todo o segmento industrial, seguindo normas internacionais da ISO (*International Standards Organization*) ou da SAE (*Society of Automotive Engineers*).

Conforme a SAE (30), estes protocolos são agrupados em três classes, a Classe A, de até 10kbit/s, a Classe B, de até 125kbit/s e a Classe C, acima de 125kbit/s. Com base nesta classificação, os diferentes protocolos podem ser agrupados conforme suas velocidades e aplicações, de acordo com a Figura 17 (30):

Figura 17 – Classes de protocolos conforme SAE (30)

O custo destes protocolos varia conforme a tecnologia utilizada, a taxa de transmissão, a complexidade de sua estruturação e a popularização de suas aplicações (30).

Os principais protocolos utilizados na indústria automotiva, suas principais características e aplicações são mostrados a seguir (28):

Tabela 2 – Principais protocolos utilizados hoje pelas maiores montadoras do mundo

Protocolo	Descrição	Usado por
CAN	<i>Controller Area Network</i> (Rede de Controle de Área)	Praticamente todas as montadoras
FlexRay	Barramento de comunicação serial de alta velocidade de atuação por evento	BMW, Daimler-Chrysler, Fiat, Ford, GM
J1850	Já em desuso	Daimler-Chrysler, Ford, GM
LIN	<i>Local Interconnect Network</i> (Rede Local de Interconexão)	BMW, Daimler-Chrysler, Fiat, Ford, GM, Honda, Nissan, Peugeot, Renault, Toyota, VW
MOST	<i>Media Oriented System Transport</i> (Sistema de Transporte Orientado à Mídia)	BMW, Daimler-Chrysler, Fiat, Ford, GM, Honda, Nissan, Peugeot, Toyota, VW
TTCAN	<i>Time-Triggered CAN</i> (CAN de Atuação por Tempo)	Nível de adoção próxima a zero
TTP	<i>Time-Triggered Protocol</i> (Protocolo de Atuação por Tempo)	Peugeot, Renault, VW

Fonte: (28)

2.1.3.2.1 CAN

Controller Area Network (CAN) é uma rede de comunicação serial que suporta o controle em tempo real mantendo um alto nível de integridade de dados.

Este protocolo aberto, robusto e de ótima relação custo/benefício foi desenvolvido em meados de 1980 pela alemã Bosch para aplicação em subsistemas automotivos e normatizada em 1994 pela organização industrial “*CAN In Automation*” ou CIA, tornando-se a ISO11898 (27). O CAN teve grande aceitação em diversas áreas de aplicação, tornando-se um dos mais duradouros protocolos utilizados pela indústria automotiva. A norma que estabelece o CAN se divide em três partes: ISO11898-1, que define o protocolo de comunicação propriamente dito, o ISO11898-2, que define a camada física do CAN *High-Speed* e o ISO11898-3, que define o CAN *Low-Speed* e *Middle-Speed*.

Um veículo típico pode conter até três redes CAN operando em diferentes taxas de transmissão. Considerando-se a interface (ou camada) física do protocolo, existem três opções do CAN, bastante difundidas no mercado (28):

Tabela 3 - Variações do protocolo CAN quanto à sua configuração física (hardware)

Protocolo	Descrição	Usado por
HS-CAN	<i>High-Speed CAN</i>	BMW, DaimlerChrysler, Fiat, Ford, GM, Hyundai, Nissan, Peugeot, Renault, Toyota, VW
FT-CAN	<i>Fault-Tolerant CAN</i>	BMW, DaimlerChrysler, Fiat, Hyundai, Nissan, Peugeot, Renault, VW
SW-CAN	<i>Single-Wire CAN</i>	GM, Honda

Fonte: (28)

- *Hi-Speed CAN*: a interface física desta rede é definida pelas normas ISO11898-2 e SAE J2284. Ela é formada por dois fios trançados (CAN_L e CAN_H), o que aumenta sua imunidade a ruídos, e com terminadores de rede resistivos nas duas extremidades da rede, para supressão de reflexões causadas pela impedância característica da linha (31).

A principal característica deste barramento é sua taxa de transmissão de alta velocidade, podendo chegar a 1 Mbit/s. Ainda que, devido ao alto custo da blindagem de seus cabos, a velocidade comumente encontrada em suas aplicações não ultrapassa os 500 kbit/s (11).

O *Hi-Speed CAN* é recomendado para os casos em que a alta velocidade de comunicação seja o principal requisito, permitindo assim que se execute um número razoável de funções críticas em tempo real. É utilizado praticamente em todos os mercados, pela maioria dos fabricantes de carros de passeio, em seus sistemas de controle de motor, ABS e *cruise control* (28; 11).

- *Fault-Tolerant CAN* (ou *middle-speed CAN*): é uma variante cuja velocidade de transmissão é limitada a 125 kbit/s e usualmente empregada em aplicações de carroceria. Possui tolerância à falha (*fault tolerance*) que é a habilidade de continuar em operação normal ou degradada mesmo quando existe uma falha de *hardware* ou *software* no sistema.

Algumas montadoras européias utilizam sistemas multiplex baseados em CAN e tolerantes à falha (compatíveis com a norma ISO11898-3) para o

controle de sistemas de porta, teto elétrico, iluminação e bancos elétricos (28).

- *Single-Wire CAN* (ou *low-speed CAN*): conhecido na indústria como SAE J2411 (ou ISO11898-3), o SWCAN é utilizado em sistemas de conforto, como de controle de climatização, travas elétricas de portas, painel de instrumentos, bancos elétricos e diversos outros sistemas que não possuam funções críticas em tempo real.

Este tipo de CAN possui três modos operacionais: com duas velocidades distintas, modo normal (33,3 kbit/s e até 32 nós), modo de alta velocidade (83.3 kbit/s) e um modo de economia de energia (11).

2.1.3.2.2 J1850

SAE J1850 é um protocolo de barramento serial multiplexado de média velocidade (Classe B) desenvolvido por montadoras americanas para uso exclusivo no meio automotivo. Possui arquitetura aberta, com topologia de barramento de apenas um nível, utilizando mensagens assíncronas multiplexadas. Permite a utilização de barramentos de um ou dois fios, dois tipos de codificação, PWM (*pulse-width modulation*) e PWM variável.

Permite ainda duas taxas de transmissão. A versão utilizada pela Ford, de dois fios, tem taxa de transmissão de 41,7 kbit/s, utilizando modulação PWM convencional. Já a versão adotada pela GM, conhecida como Class2, utiliza barramento de um fio, transmitindo a 10,4 kbit/s e utilizando o PWM variável.

Este protocolo foi adotado como padrão nos Estados Unidos, porém as três grandes fabricantes (GM, Ford e Chrysler) nunca chegaram a um acordo de padronização. Isto causou a impossibilidade de reutilização de componentes entre elas, o que também causou um custo maior no desenvolvimento de componentes (32).

Bastante utilizado nos anos 90 no controle de subsistemas de carroceria, gerenciamento de motor, transmissão e ABS, este protocolo encontra-se hoje praticamente em desuso, sendo substituído pelo CAN nas aplicações automotivas, amplamente adotado no mercado europeu. Os motivos que levaram a esta migração foram o aumento dos requisitos e funcionalidades nas novas arquiteturas o aumento

de funções críticas e a busca por soluções de rede com melhor custo/benefício e requisito de maior flexibilidade (29).

2.1.3.2.3 LIN

O LIN *Consortium*, formado por empresas como Audi, BMW, Daimler-Chrysler, Motorola, Volvo e Volkswagen, iniciou seus trabalhos em 1988 com o objetivo de desenvolver um protocolo aberto de baixo custo de aplicação, com camada física do protocolo baseada na ISO9141, para aplicações onde a versatilidade e a largura de banda proporcionada pelo CAN não eram necessárias (29).

Surgiu então o LIN (*Local Interconnect Network*), um protocolo serial multiplexado de baixa velocidade (de 1 a 20 kbit/s), tipo mestre-escravo, determinístico e *time-triggered* para uso em sistemas de carroceria, conveniência e conforto em veículos, como sistemas de regulação de bancos, retrovisores, portas e tetos elétricos, colunas de direção, limpadores de pára-brisas, painéis de instrumentos e controle “climático”. Em resumo, surgiu para aplicações que tenham como objetivo a interconexão de interruptores, atuadores e sensores localizados em sub-barramentos conectados a barramentos principais, normalmente do tipo CAN (29).

No LIN, a comunicação é baseada no uso de UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*), dispositivo eletrônico que utiliza o método de comunicação serial largamente difundido e disponível em diversos microcontroladores, que dispensa a utilização de controladores de comunicação, onde os nós se auto-sincronizam no início da transmissão de cada mensagem (28).

Como se trata de um protocolo desenvolvido não somente para aplicações automotivas, o LIN pode ser encontrado em diversas outras aplicações eletrônicas industriais (28).

2.1.3.2.4 Protocolos Multimídia (D2B, Bluetooth, MML)

A forte tendência atual da incorporação de módulos multimídia nos automóveis, como tocadores de CD, DVD, TV digital e de sistemas sem fio, os quais demandam redes síncronas com altas taxas de transmissão, fizeram surgir diversos outros protocolos específicos para estas aplicações; ou ainda fizeram com que protocolos existentes no mercado de produtos eletro-eletrônicos fossem adaptados e adotados nos veículos. Desta categoria de protocolos, vale ressaltar (11):

- *Domestic Data Bus (D2B)*: desenvolvido em conjunto pela Matsushita e Philips no início dos anos 90, teve como alvo as comunicações de áudio e vídeo, periféricos de computadores e aplicações de mídia para automóveis. Foi utilizado no Mercedes-Benz S-Class para constituir a rede em fibra óptica que interconecta os sistemas de rádio, CD, tele-socorro remoto, telefonia celular e aplicações de reconhecimento de voz;
- *Bluetooth*: é uma especificação aberta de uma mini-rede de rádio de baixo consumo, curto alcance (de 10 a 100 metros apenas) e baixo custo. Este protocolo propicia uma fácil e instantânea conexão entre dispositivos compatíveis sem a necessidade de cabos. É bastante encontrado em aplicações de viva-voz, tocadores de DVD, CD portáteis e MP3, equipamentos de diagnóstico e computadores de mão;
- *Mobile Media Link*: Desenvolvido pela Delphi Packard para atender aplicações automotivas multimídia, o protocolo MML facilita a troca de dados e informações de controle entre equipamentos de áudio e vídeo, como amplificadores e telas para consoles de videogame e navegadores. Este protocolo também é baseado em rede de fibra óptica e foi utilizado em um veículo-conceito, desenvolvido juntamente com a IBM, Sun Microsystems e Netscape.

2.1.3.2.5 MOST

Fazendo parte do grupo dos protocolos multimídia, a rede em fibra óptica MOST (*Media Oriented Systems Transport*) foi originalmente desenvolvida por um fabricante de semicondutores em conjunto com diversas montadoras e fornecedores de entretenimento móvel, através do *MOST Cooperative* (BMW, Daimler, Harman/Vecker e SMCS) em 1998 (33).

Ela provê mecanismos de transporte de grandes volumes de dados de “streaming multimídia”. Aplicações típicas são transmissões de áudio de alta qualidade, sistemas de navegação, de computação pessoal, internet e outros sistemas de *infotainment* para veículos automotivos.

Uma rede MOST em anel pode incluir até 64 dispositivos. Um deles desempenha o papel de mestre (“*timing master*”), que garante que os frames de mensagens sejam

transmitidos ciclicamente de nó a nó e que os nós escravos (*"timing slaves"*) sejam sincronizados. A ciclicidade destas transmissões geralmente corresponde às frequências de amostragem do CD (44,1 kHz) e do DVD (48 kHz) (28; 33).

No total, a largura de banda disponível para *streaming* de dados (transmissão síncrona de dados) e pacotes de dados (transmissão assíncrona de dados) é de aproximadamente 23 Mbit/s a 48 kHz. Isto é subdividido em 60 canais físicos, os quais o usuário pode selecionar e configurar (28; 33).

Recentemente foram desenvolvidos o MOST50, utilizando rede de dois fios (par trançado) com o dobro da largura de banda da versão original, e também uma versão com a banda três vezes maior, o MOST150 (28).

MOST é utilizado por diversas montadoras. Marcas *premium* como Land Rover, Jaguar, Volvo, Audi e Porsche utilizam esta rede. Da GM, a SAAB já a utilizou, porém não a utiliza mais. Nissan e Honda ainda não apresentaram nenhuma aplicação com esta tecnologia (28).

2.1.3.2.6 Byteflight

Este flexível protocolo TDMA (*time-division multiple-access*) desenvolvido por empresas como BMW, ELMOs, Infineon, Motorola e Tyco para aplicações relacionadas à segurança pode ser utilizado com dispositivos de airbag e pretensionadores de cinto. Devido a sua flexibilidade, também pode ser utilizado em sistemas de conveniência, como controle central de travas de porta, posicionamento de bancos e vidros elétricos.

Apesar de não ter sido especificada para aplicações x-by-wire, a rede Byteflight é considerada como sendo de alto desempenho, possuindo diversas características também requeridas para redes x-by-wire (11).

2.1.3.2.7 FlexRay

É um sistema de barramento destinado às aplicações automotivas que exijam sistemas de comunicação determinísticos de alta velocidade, tolerantes às falhas e com capacidade de suportar sistemas avançados de controle distribuído, como o caso dos sistemas *x-by-wire* (34).

Este protocolo foi desenvolvido em conjunto entre montadoras (BMW, Daimler-Chrysler, General Motors e Volkswagen) em cooperação com fabricantes de

semicondutores (Philips e Motorola), sendo compatível também com o Byteflight (34).

Quando à camada física, uma rede FlexRay pode ser óptica ou elétrica. Dentre suas características, vale ressaltar a transmissão de dados dinâmicos e estáticos (escalonável), taxas de transmissão de até 20 Mbit/s (dois canais de 10 Mbit/s cada, escalonáveis em 2.5, 5 e 10 Mbit/s por canal) com possibilidade de configuração redundante, serviços *time-triggered* (com disparo por tempo) implementados no hardware e base de tempo global (34).

O FlexRay já se encontra em uso no BMW X5, no sistema de chassis. Diversas outras aplicações estão em desenvolvimento, como interfaces para conexão via USB, PCI e PCMCIA (34).

2.1.3.2.8 TTCAN

A ISO especificou na ISO11898-4 o protocolo TTCAN (*time-triggered communication on CAN*), uma extensão de protocolo para redes baseadas em CAN cuja aplicação necessite de sincronização entre os nós. Quando os nós são sincronizados, qualquer mensagem pode ser transmitida em uma específica janela de tempo sem ter que competir pelo acesso ao barramento. Isso evita perdas por arbitragem e o tempo de latência torna-se previsível. Com exceção desta parte de sincronismo, os nós TTCAN operam de acordo com as normas de CAN definidas pela ISO11898-1 (28).

Uma referência de tempo comum ou um sistema global de tempo são utilizados para a sincronização das atividades de todos os nós desta rede. Cada nó tem seu tempo local e seu relógio interno, que é um contador incrementado pela unidade de tempo da rede (NTU). A seqüência da transmissão de dados é sincronizada através da repetição de uma mensagem de referência, transmitida pelo *time master*. Esta mensagem zera o contador de cada nó, reiniciando sua contagem (28).

2.1.3.2.9 TTP

Desenvolvido para utilização em sistemas distribuídos de tempo real e tolerante à falha, o *Time-Triggered Protocol* teve como proposta inicial atender a sistemas *x-by-wire* de freios e direção elétricos que substituíam os sistemas mecânicos e hidráulicos convencionais (11).

Diferentemente do barramento CAN, que é assíncrono e direcionado a eventos, nos sistemas baseados em TTP, todos os nós comunicam na base de tempo especificada, evitando assim colisões. Também se comunicam via redes redundantes. A precisão do intervalo de tempo pode chegar a microssegundos (28).

2.1.3.2.10 TTP/C

TTP/C é um protocolo de comunicação integrado para sistemas distribuídos de tempo real e tolerância a falhas em aplicações pesadas.

O TTP/C é membro da família de protocolos TTP, onde o C indica que este protocolo atende os requisitos para comunicações Classe C para fins automotivos (conforme a SAE). Protocolos similares utilizados atualmente, como J1850 ou o CAN, atendem apenas os requisitos para as classes A e B, menos rigorosos que os da Classe C. Por isso este protocolo é destinado às aplicações x-by-wire (28).

Para tanto, várias estratégias de tolerância às falhas são suportadas, não permitindo que nenhuma falha simples em qualquer parte do sistema possa corromper a comunicação. Complexos mecanismos de detecção de erros, recuperação e re-integração de nós também estão disponíveis (28).

Este protocolo pode ser usado para transmissão baseada em eventos ou tempo. Para isto, bandas dedicadas devem ser alocadas em cada nó para atividades baseadas em eventos, isto é, os dados somente serão transmitidos em janelas definidas de tempo. O propósito disto é assegurar que eventos ou dados de diagnóstico não prejudiquem a segurança dos dados em tempo real (28).

Maiores detalhes sobre os protocolos aqui apresentados podem ser encontrados no Apêndice A deste trabalho.

2.1.4 Tendências de tecnologia da eletrônica embarcada

2.1.4.1 Eletrificação de sistemas convencionais e sistemas *X-by-wire*

A tendência de eletrificação dos sistemas convencionalmente mecânicos e pneumáticos, já comentada anteriormente, deve continuar forte nos próximos anos.

Cogita-se que em 2010, um em cada três veículos novos contarão com sistemas de direção elétricos (11).

Os sistemas x-by-wire ainda em desenvolvimento irão, por exemplo, substituir por completo a coluna de direção com sensores angulares e motores de *feedback* (11).

Uma rede de comunicação fornecerá o meio de controle para os atuadores de direção instalados nas rodas. A remoção da coluna de direção aumentará a segurança do motorista em casos de colisão e ainda permitira um novo estilo de liberdade, além de simplificar a produção de modelos com a direção do lado esquerdo e direito (11).

Sistemas artificiais de *feedback* irão transmitir ao condutor as mesmas sensações dos sistemas convencionais (como no caso da perda de controle do veículo, onde o motorista sente a instabilidade pelo volante e reage conforme a intensidade deste estímulo) (11).

Os sistemas de segurança também são outro alvo destas tecnologias, como mostrou a Figura 14 (11) quando apresenta a evolução dos sistemas de segurança ativa e passiva desde seus primórdios até suas tendências para os próximos 20 anos, sendo um importante fator competitivo no mercado automotivo (27).

A Figura 18 (11) mostra a evolução da eletrificação dos sistemas de controle dinâmico veicular desde o início do automóvel, no começo do século passado, onde todos os sistemas eram mecânicos, passando por sistemas hidráulicos, até os dias atuais, onde todos os sistemas são controlados eletronicamente. Nota-se ainda o aumento do número de sistemas e de funções e, conseqüentemente, o aumento da dependência de componentes eletrônicos. Vale ressaltar, ainda, que os mais recentes sistemas dinâmicos já nasceram eletrônicos, não possuindo versões mecânicas ou hidráulicas (11).

Figura 18 - Passado e futuro previsto para sistemas de controle dinâmico x-by-wire (11)

Todas as grandes montadoras estão desenvolvendo protótipos ou já produzindo veículos com sistemas *x-by-wire*. Grandes fornecedores já possuem também sistemas deste tipo, na qual a TRW e a Delphi possuem um sistema de direção eletrônica assistida que reduzem em até 5% o consumo de combustível. Companhias como Bosch, Continental, AG, Visteon e Valeo também já desenvolveram, ou tem planos de desenvolver, componentes e tecnologia para sistemas *x-by-wire*. Diversos protocolos são compatíveis com estes sistemas, como TTP, FlexRay e TTCAN (11).

Com a rápida queda dos custos destes sistemas, em breve estes sofisticados opcionais se tornarão componentes comumente encontrados na arquitetura veicular, mesmo em veículos mais simples.

Outra tendência é o desejo do consumidor pela individualização de seu veículo. A personalização de veículos para mercados ou nichos específicos propicia o desenvolvimento de uma gama cada vez maior de acessórios, funcionalidades e equipamentos, o que também implica em arquiteturas ainda mais complexas,

robustas e com maior número de interfaces e maior grau de interação entre os sistemas (10).

2.1.4.2 Sistema de distribuição e controle de cargas

Conforme Johnston (15) e Miller (24), a tendência de aumento no número de sistemas elétricos e eletrônicos embarcados, sua complexidade e conseqüente aumento do consumo elétrico em veículos continua válida. Sistemas de propulsão híbridos ou puramente elétricos, assim como sistemas de recuperação de energia exigirão sistemas elétricos com capacidades superiores a 20, 30 ou 50 kW.

Kassakian (18) compartilha da mesma idéia, acreditando que os sistemas que em 1996 consumiam entre 800 W e 2,5 kW em 2005 possam atingir até 6 kW, sendo que o sistema de 12 V hoje utilizado apresenta apenas uma vantagem neste cenário, que é a infra-estrutura existente, pois nos demais aspectos, como eficiência, peso, desempenho e custo, o uso de arquiteturas que operem em tensões mais elevadas pode apresentar melhores respostas.

Um ponto limitante aos sistemas 12 V é que todas as suas cargas (sistemas ou componentes) devem ser resistentes a transitórios elétricos, conhecidos como *load dumps*. Este fenômeno ocorre quando a bateria em carga é repentinamente desconectada causando uma repentina queda de corrente no alternador, e por conseqüência um pico de tensão de 40 a 80 V aproximadamente, durante um intervalo de tempo da ordem de 100ms (tempo necessário para o regulador de tensão normalizar a tensão do alternador). Isto significa que para todos os propósitos, semicondutores diretamente conectados ao sistema de carga deverão ter tensões nominais entre 50 e 100 V, mesmo que estes valores nunca sejam atingidos durante a vida útil do veículo, significando um custo adicional considerável, principalmente em se tratando de componentes do tipo MOSFET de potência, cada vez mais utilizados no lugar de relés convencionais (18).

Conforme Miller (24), num futuro próximo, a eletrônica de potência terá três funções distintas: ligar e desligar as cargas elétricas, controlar máquinas elétricas e por último converter tensões, não só em intensidade (elevar ou abaixar), como também de uma forma em outra, utilizando conversores dc/dc, dc/ac e ac/dc. Desta forma, diversos níveis de tensão estarão disponíveis e serão distribuídos pelo veículo conforme a necessidade das cargas, como mostra a Figura 19 (18).

Figura 19 - Exemplo de arquitetura com sistema de distribuição avançado empregando linha AC de 48 Vrms (18)

Estas tendências, associadas a condições econômicas favoráveis, podem trazer profundas mudanças nas arquiteturas elétricas futuras (18).

O atual sistema 12V não conseguirá atender todas as demandas de carga, e novos sistemas de tensão superior deverão ser considerados, reduzindo peso e volume dos chicotes elétricos (estima-se que a utilização de sistemas de 42 V possa reduzir em até 20% o diâmetro dos chicotes (11)).

O controle da distribuição elétrica deverá incluir sistemas avançados de gerenciamento de cargas, minimizando assim os picos de carga e reduzindo o superdimensionamento de componentes, como alternadores e conversores elétricos.

O alternador será possivelmente substituído por outro mais eficiente em tensões mais elevadas, provavelmente não mais regulado para produzir uma tensão constante, possibilitando que gere energia até sua capacidade máxima, empregando por sua vez uma interface eletrônica que produzirá saídas reguladas independentes, em tensões diversas, tanto contínua como alternada (de livre decisão do fabricante

automotivo), separando fisicamente os sistemas de potência dos sistemas de supervisão e comunicação de dados (24), eliminando a necessidade de desenvolvimento de redes de distribuição de energia resistentes a transitórios elétricos.

Outra tendência é a utilização de alternadores integrados ao motor de partida, como eram no início da história do automóvel, com rendimento até 20% maior que os atuais e com função de partida-parada (*start-stop*) rápida, exigindo menos de 200ms para partir o sistema (11).

A bateria continuará sendo de 12V, devido à relação custo-benefício desfavorável no caso de baterias de tensões superiores utilizando a tecnologia hoje disponível (chumbo-ácido) e devido a fatores de peso e dimensões (que tendem a aumentar junto com a elevação da tensão).

A utilização de sistemas chaveados por semicondutores, como o MOSFET continuará a aumentar, devido sua maior rapidez, robustez e compatibilidade de seu controle por módulos eletrônicos convencionais.

Os sistemas de iluminação serão revistos e poderão utilizar lâmpadas incandescentes de 6 ou 12V, DC ou AC, padronizados, no futuro, pelas montadoras.

Motores elétricos deverão utilizar tensão de 42Vdc, devido ao alto torque conseguido e facilidade de controle (a indústria de semicondutores adota como padrão tecnologia CMOS de 60V).

Utilização de redes seriais de comunicação proporcionará ganhos no desempenho do sistema com menores custos e complexidade envolvidos. Sua utilização juntamente com o conceito de alimentação distribuída multiplexada, através de uma rede de alimentação, possibilitariam que módulos de chaveamento em estado sólido ou baseados em relés eletromecânicos alimentem conjuntos de cargas localizadas fisicamente próximas e funcionalmente agrupadas, como exemplifica a Figura 20 (35). O acionamento destes módulos seria feito através da rede de comunicação serial, onde cada módulo de chaveamento seria um nó desta rede, podendo ter inteligência própria, aumentando a qualidade do diagnóstico, isolando fisicamente as cargas e possibilitando um maior controle do gerenciamento do sistema de carga (35).

Figura 20 - Exemplo de arquitetura multiplex com barramentos de alimentação e de comunicação, onde o gerenciamento de carga é feito localmente, de forma distribuída, por nós inteligentes (35)

Estas mudanças terão de ser introduzidas gradativamente, onde um exemplo seria a introdução de conversores dc/dc na bateria (24), e de ser totalmente compatíveis com a arquitetura antiga, garantindo assim uma transição e adequação suave dos fabricantes da indústria automotiva e de acessórios.

2.1.4.3 Evolução da arquitetura de redes

Tempos atrás, a rede serial de um veículo era única, e deveria atender todas as necessidades da arquitetura. Hoje, conforme mostrado no item 2.1.3.2, *Redes de comunicação*, o conceito de redes seriais evoluiu para sistemas de redes múltiplas, com características distintas, tanto de velocidade, como confiabilidade e flexibilidade, e aplicadas a grupos de funções com especificações semelhantes, o que explica o grande número de protocolos existentes, alinhado ainda com as estratégias de diversificação do produto (da versão básica à completa) e de reuso.

Como qualquer tecnologia, esta evolução está trazendo vantagens e desvantagens.

As principais vantagens de uma arquitetura de redes múltiplas são:

- Menor custo médio por nó por veículo: por tornar a arquitetura mais flexível, as vantagens de cada tipo de rede podem ser mais bem aproveitadas para cada tipo de aplicação no veículo, o que pode trazer uma redução no custo médio por nó (29);
- Maior facilidade em gerenciar requisitos de velocidade: é o mesmo conceito apresentado no item acima, porém sob o ponto de vista da velocidade de comunicação, isto é, com a utilização de múltiplas redes, cada sistema (ou grupo de sistemas) poderá contar com redes de comunicação cujas velocidades de comunicação sejam específicas para cada tipo de função ou aplicação, evitando assim o subaproveitamento ou a sobrecarga da rede serial, como ocorre com sistemas de rede única (29);
- Oportunidades de particionamento por áreas funcionais, ou por criticidade de dados, ou por método de comunicação ou por subsistema: aumenta-se a flexibilidade da arquitetura, podendo adequá-la ou combiná-la a outros fatores externos que podem ir desde vantagens comerciais até vantagens técnicas e de integração de um fornecedor, por exemplo (29);
- Maior interação entre os subsistemas: uma vantagem na utilização de redes seriais é a maior interação entre os sistemas de chassi, motor e carroceria. Isto facilita a relação entre montadoras e fornecedores de acessórios ou sistemas especiais, pois as interfaces disponíveis podem ser mais facilmente exploradas por estes parceiros, o que resulta também numa maior facilidade em se adicionar novas funções e expandir as arquiteturas atuais (36);
- Redução da complexidade na manufatura: a redução da quantidade de fios nos chicotes elétricos, e a redução na proliferação de chicotes, para atenderem todas as opções de funções desejadas, são fatores intensamente buscados nos projetos de arquitetura. As redes seriais proporcionam esse tipo de resultado, que melhoram inclusive o roteamento destes chicotes, uma vez que, com a diminuição da quantidade de fios, o diâmetro dos chicotes também diminui, diminuindo seu peso e aumentando sua flexibilidade (36);
- Aumento da confiabilidade: chicotes elétricos complexos possuem centenas de conectores, terminais e segmentos de fios, o que eleva a probabilidade de uma

falha elétrica. Com o uso de redes seriais, o número destes elementos diminui, diminuindo também o potencial de falha dos sistemas elétricos (36);

- Menor tempo para diagnóstico: em sistemas discretos e com poucos módulos inteligentes, são raras as estratégias de diagnósticos em seus componentes o que, somado à enorme quantidade de fios, relés, terminais e conectores, tornam a busca por uma falha elétrica muito penosa e demorada (36). Nos sistemas com redes seriais, os módulos possuem esta inteligência e somado à vantagem da interação entre sistemas, estratégias elaboradas de diagnóstico podem ser estabelecidas, facilitando e diminuindo o tempo para diagnóstico dos sistemas elétricos.

Desvantagens deste tipo de estratégia (29):

- Necessidade de recursos adicionais: cada diferente rede empregada exige um “recurso” específico de engenharia, seja qual for a fase do projeto, desde o desenvolvimento da arquitetura, integração, validação até a fase de suporte à produção e diagnóstico;
- Necessidade de suportar diferentes protocolos: devido ao fato da otimização das aplicações seriais, cada rede utiliza um protocolo diferente. Isto representa um aumento na complexidade de gerenciamento de recursos, uma vez que demandam múltiplas ferramentas de desenvolvimento, bases de dados e de diagnóstico;
- Aumento da complexidade no compartilhamento de dados entre as redes: a disponibilidade de dados entre as redes se torna mais complicada, o que pode resultar em entraves na alocação das funções nas redes ou até na necessidade de adição de um módulo de *gateway* (ou ponte) entre as redes, aumentando, entre outros, custo, tempo de desenvolvimento e integração, diminuindo a confiabilidade;
- Manutenção mais complicada: quanto mais complexa for a arquitetura de rede, mais complexa será a manutenção e o diagnóstico de problemas, (apesar das vantagens já expostas em relação a utilização de sistemas discretos, quanto à redução do número de conectores e circuitos).

Nesta configuração, os módulos eletrônicos do veículo são divididos em grupos, de acordo com sua funcionalidade e localização. Isto significa que módulos com tipos de trabalho similares localizados próximos uns aos outros serão agrupados em uma rede, chamada de rede nível 1, com suas características próprias de velocidade e formato de dados. As diversas redes nível 1 poderão ser interligadas por outra rede, chamada nível 2, para possibilitar a troca de informações entre as redes e para cumprir as funções de diagnóstico unificado em um único padrão. Como a quantidade de informações em transito nesta rede é menor, uma velocidade mais baixa de comunicação poderá ser adotada (37).

Na grande maioria dos veículos de hoje, existem basicamente duas redes principais: uma de alta velocidade, para trem-de-força (*powertrain*), e uma de baixa velocidade para os módulos de carroceria (*body*), como mostra a Figura 21 (37). Porém, com a constante demanda por banda de transmissão mais largas e complexidade de topologias e funções, este número deverá crescer num futuro próximo, tendo em vista que quanto maior o número de nós em uma rede e maior o comprimento da rede, menor será sua velocidade efetiva (37).

Figura 21 - Topologia típica de um veículo atual (37)

Em sistemas multi-rede, a conexão entre elas é necessária para serviços de diagnóstico e atualização de software. Devido às várias vantagens de um sistema baseado em barramentos, uma idéia lógica seria utilizar um barramento dedicado para este propósito:

Figura 22 - Topologia de uma arquitetura com quatro redes Nível 1, uma rede Nível 2 e quatro switches inteligentes (gateways simples) (37)

No sistema multi-rede da Figura 22 (37), quatros “switches” inteligentes (constituído de um microcontrolador de baixo custo que suporte comunicação com duas redes) interligam todas as redes à rede de diagnóstico, sendo um “switch” para cada partição de rede. Neste exemplo, considera-se que todas as informações a serem disponibilizadas para a rede de conectividade global já estejam disponíveis serialmente, isto é, o papel dos “switches” inteligentes é tão somente a “tradução” de uma informação (conversão do dado de um protocolo para outro) vinda de um barramento serial para outro barramento.

O principal problema é que na falha de um “switch”, os diversos módulos de uma sub-rede ficarão sem comunicação com a rede de diagnóstico.

Uma solução mais cara, porém tolerante a falha, é sugerida na Figura 23 (37), onde a comunicação da rede de diagnóstico é disponibilizada diretamente em cada módulo, através da adição de um “transceiver” em cada. Neste caso, na falha da rede principal de módulos não relacionados à segurança, os módulos poderiam se comunicar através da rede secundária de diagnósticos, apesar de apresentar alguma degradação na comunicação.

Figura 23 - Topologia de uma arquitetura tolerante à falha com quatro redes Nível 1 e uma Nível 2 (37)

Dependendo da robustez desejada e do custo a ser assumido, a arquitetura pode evoluir para sistemas redundantes com tolerância a falhas, onde todos os agrupamentos de módulos são conectados a, no mínimo, duas redes distintas, onde uma falha na rede principal de algum subsistema não afeta as redes principais dos demais subsistemas, conforme mostrado na Figura 24 (37):

Figura 24 - Topologia de uma arquitetura tolerante à falha com oito redes Nível 1, duas Nível 2 e quatro switches inteligentes (gateways simples) (37)

As possibilidades são inúmeras, e sua escolha dependerá de diversos fatores além de custo, como mostrado na sessão 2.2.2.2 Considerações de engenharia.

2.1.4.4 Integração de sistemas

Diferentemente de hoje, o processo de desenvolvimento de arquiteturas no futuro será *top-down*, isto é, adotará o ponto de vista sistêmico, e não mais o do componente (ou módulo). O foco será em processos integrados de desenvolvimento e também no modelamento prévio do software e hardware, o qual permitirá a verificação de sua funcionalidade desde as primeiras fases de desenvolvimento. Diversas iniciativas neste sentido já existem hoje no mercado, como o FlexRay Consortium e o AUTOSAR Development Partnership (38).

Segundo Frishkorn (38), as arquiteturas do futuro serão hierarquicamente estruturadas, nas quais funções individuais, implementadas em módulos eletrônicos (ECU) serão conectadas via rede através de um *middleware*¹, como por exemplo, o AUTOSAR (*AUTomotive Open System ARchitecture*). Funções e módulos com características semelhantes formarão domínios como, por exemplo, *powertrain* (trem-de-força), *chassis*, *infotainment* e *safety* (segurança). Um módulo central integrará estes domínios, suas inter-relações e demais sensores e atuadores inteligentes. Haverá, ainda, serviços independentes que suportarão a operação e administração de funções e módulos dentro de cada domínio.

Desta forma, a arquitetura veicular pode ser subdividida em arquitetura “lógica” (ou funcional) e arquitetura “técnica”, onde o middleware é a “cola” entre as duas (39).

A arquitetura “lógica” representa as funções de rede como sendo uma descrição das funcionalidades do veículo independentemente de sua aplicação física. Ela propicia o reuso do conhecimento funcional em uma grande variedade de modelos e séries de veículos, assim como servir de base para avaliar alternativas de desenvolvimento além de promover o desenvolvimento de componentes de funcionalidade modular e, portanto, reutilizável.

A arquitetura “técnica” engloba a arquitetura de hardware e a de software, incluindo o mapeamento da arquitetura de software na arquitetura de hardware.

A Figura 25 (40) mostra o processo *top-down* de desenvolvimento de arquitetura. Primeiramente são definidas as funções requeridas para o veículo. Estas funções

¹ Programa computacional que faz a mediação entre outros softwares. É utilizado para mover informações entre programas ocultando do programador diferenças de protocolos de comunicação, plataformas e dependências do sistema operacional.

são agrupadas por similaridade e interdependência, formando a arquitetura lógica do sistema (definindo os subsistemas do veículo). Estes agrupamentos de funções são então alocados fisicamente nos módulos eletrônicos, gerando a arquitetura técnica. A partir daí, serão definidos os microprocessadores e a arquitetura eletrônica dos módulos, assim como seus softwares.

Figura 25 - AUTOSAR como parte de um processo global, envolvendo todos os níveis de desenvolvimento de um veículo (40)

Conforme Reichart (10), outra tendência das arquiteturas é a centralização de funções em um número menor (porém mais potentes) de módulos eletrônicos. O “apelo” do sistema distribuído será mais presente no *software* do que no *hardware*. O grande desafio aqui será a integração do software de diversos fabricantes em módulos padronizados pelas montadoras, semelhante ao que ocorreu com a indústria de computação. Daí a importância da padronização do software de funcionalidades básicas para a viabilidade de reuso destas aplicações.

Um fator que dá suporte a estas tendências é o aumento da integração entre os sistemas veiculares, ilustrados pela Figura 26 (41). Funções que até então eram mutuamente excludentes estão tornando-se integradas e de difícil distinção (41). Exemplo disto são sistemas de distribuição de cargas inteligentes que integram

funções de controle de carroceria que até então só eram disponibilizadas em módulos eletrônicos distintos.

Figura 26 - Grau de integração entre os sistemas elétricos e eletrônicos hoje (esq.) e sua tendência (dir.) (41)

2.1.4.4.1 Sistemas abertos e o AUTOSAR

Soluções proprietárias para arquiteturas não são mais sustentáveis devido ao longo tempo de desenvolvimento e integração exigidos (10). Desta forma, juntamente com a evolução de eletrônica embarcada, o processo de desenvolvimento de novas arquiteturas elétricas também evoluiu.

Atualmente muito se ouve falar sobre sistemas abertos (*Open Systems*). Apesar de possuir diversas definições, como a estabelecida pelo *Open System Joint Task Force*, do Departamento de Defesa Norte-Americano, ou ainda aquela defendida pelo Instituto de Engenharia de Software da Universidade Carnegie Mellon, um sistema aberto é, basicamente, uma coleção de softwares e hardwares e componentes de interação humana, desenvolvidos para satisfazer necessidades técnicas e mercadológicas através do emprego de especificações de interfaces (normas) de acesso público, onde os desenvolvimentos de componentes e aplicações devem seguir fielmente estas especificações (42).

Diversos consórcios, formados por representantes de toda a cadeia produtiva, desde montadoras até desenvolvedores de software e semicondutores, desenvolvem metodologias para padronização de sistemas, componentes, software, ferramentas, como já visto no desenvolvimento dos protocolos de comunicação mais recentes (FlexRay, LIN e CAN). Uma destas iniciativas é o AUTOSAR.

O AUTOSAR é uma iniciativa liderada por empresas do setor, como BMW, Bosch, Continental, Daimler-Chrysler, General Motors, PSA, Toyota, Ford, Volkswagen, Vector e Siemens VDO, formada em 2002, que tem como objetivos principais (43):

- A padronização de processos de desenvolvimento e de formatos;
- A padronização de funcionalidades e interfaces funcionais;
- A definição de referências abertas de arquiteturas para software de módulos (software básico);
- A definição de uma interface clara entre os softwares básicos de módulos e aplicações.

Além de envolver todas as áreas e sistemas veiculares, as definições do AUTOSAR levam em consideração conceitos e requisitos de (44):

- Disponibilidade e segurança;
- Escalabilidade, para aplicação em diferentes veículos e plataformas veiculares;
- Integração e modularidade entre fornecedores e fabricantes;
- Transferência de funções via rede;
- Garantia manutenção, atualização e evolução do software durante todo o ciclo vida do veículo.

O processo de desenvolvimento adotado pelo AUTOSAR é o *top-down*, o qual foi mostrado na Figura 25, apresentada e comentada no tópico anterior. A versão 4.0 da documentação do AUTOSAR é aguardada para o final de 2009.

Segundo Scott Kirchner (45), esta iniciativa irá trazer enormes benefícios para a cadeia, como redução no custo de desenvolvimento e maiores possibilidades de reuso de software, componentes e menos retrabalho, além de uma mudança nas relações entre fabricantes e fornecedores, através do aumento e democratização do conhecimento técnico e padronização de metodologias entre os parceiros, facilitando inclusive a integração dos sistemas veiculares, ainda que o maior desafio hoje seja exatamente evitar que as grandes empresas criem versões proprietárias destas tecnologias.

2.2 PROJETO DE ARQUITETURAS ELÉTRICAS

O projeto de uma arquitetura elétrica está intimamente ligado à definição do veículo, uma vez que sua concepção deverá atender todos os requisitos e posicionamento de mercado, vendas e pós-venda através dos conceitos, normas e práticas da engenharia.

Desta forma, grande ênfase é dada ao seu início, onde se priorizam as avaliações de mercado e relações de compromisso entre as fases do ciclo de vida do produto (46), definindo assim as características, conceitos e critérios a serem seguidos durante todo o restante do projeto.

2.2.1 Sistematização e cronograma básico do projeto de arquiteturas

O processo de desenvolvimento de uma arquitetura é definido por Reichart (10) através dos seguintes passos:

- Formulação das premissas da arquitetura;
- Coleta, análise e filtro dos requisitos funcionais e sistêmicos relevantes;
- Determinação das funções que satisfazem os requisitos;
- Descrição da rede funcional incluindo suas inter-relações;
- Determinação de aspectos de segurança e disponibilidade;
- Partição das funções no hardware considerando aspectos técnicos, funcionais, lógicos, dinâmicos e de geometria;
- Otimização das soluções encontradas através da verificação de práticas de engenharia já existentes;
- Identificação de itens em aberto e análise de risco;
- Especificação das funções de sistema (elaboração da documentação detalhada sobre cada função de cada sistema);
- Elaboração de um plano de ação, incluindo os pontos de verificação necessários;
- Decisão final sobre o conceito de arquitetura adotado.

De acordo com Kaminski (47), um projeto de produto, independentemente das suas características individuais, se desenvolve em fases seqüenciais, ainda que

considerações pertinentes a fases posteriores sejam necessariamente utilizadas em fases anteriores. Durante o projeto, todo o ciclo de produção e consumo é considerado, ainda que com prioridades diferenciadas em cada fase do projeto – conceito conhecido como espiral de projeto.

Normalmente podem ser definidas sete fases no projeto de um produto (47):

- 1ª. Fase: Estudo de viabilidade – fase inicial de qualquer projeto em que se chega a um conjunto de soluções para o problema. O detalhamento destas soluções deve ser suficiente apenas para a verificação de suas viabilidades técnicas e econômicas. Portanto nessa fase são especificadas as características funcionais, operacionais e construtivas, além de limitações e critérios de projeto;
- 2ª. Fase: Projeto básico – tem por objetivo selecionar a melhor proposta dentre aquelas obtidas na primeira fase. As vantagens e desvantagens das propostas são analisadas de forma superficial através de uma matriz de decisão. Escolhida a proposta, esta é então analisada de forma mais profunda, através de modelos físicos ou matemáticos, definindo por completo as principais características do produto;
- 3ª. Fase: Projeto Executivo – nesta fase, a especificação completa do produto é realizada. O produto é “testado” e pode ser produzido. Esta fase termina com a descrição de engenharia aprovada, isto é, com todos os desenhos, listas de peças e especificações de projeto, testes, avaliações e relatórios que certificam o projeto;
- 4ª. Fase: Planejamento da produção/execução – compreende o planejamento para a fabricação do produto: processos de manufatura, instalações, recursos humanos necessários, controle de produção, normas de segurança, entre outros;
- 5ª. Fase: Planejamento da disponibilização ao cliente – estabelece as formas mais convenientes de distribuição do produto. Envolve o projeto de embalagem, depósito e promoção do produto;
- 6ª. Fase: Planejamento do consumo ou utilização do produto – define a maneira de utilização do produto pelo usuário final, levando em consideração

aspectos como: facilidade de manutenção, confiabilidade adequada, segurança de operação, interação homem-produto, aparência estética, durabilidade adequada;

- 7ª. Fase: Planejamento do abandono do produto – estabelece a vida útil do produto (deterioração física ou obsolescência), através da definição da tecnologia adequada, para reduzir a velocidade da obsolescência técnica, da durabilidade assumida para seus componentes, das estratégias de descarte e de renovação da linha de produtos.

No projeto de veículos, devido a sua grande complexidade, estas fases são adaptadas de acordo com as necessidades do projeto, sendo algumas desenvolvidas em paralelo, e tendo suas durações definidas conforme o conteúdo do programa, baseado no grau de complexidade do projeto e a quantidade de itens (componentes ou sistemas) novos a serem desenvolvidos e validados. Por isso, um projeto pode “durar” de 1 ano (modificações “cosméticas”) a 5 anos, quando exigem a definição ou mudança de uma arquitetura veicular.

A Figura 27 (13) mostra um modelo de sistematização do processo de desenvolvimento de projetos de veículos. Suas fases e características serão descritos a seguir (13).

Figura 27 - Modelo de sistematização do processo de desenvolvimento de veículos novos (13)

Tabela 4 - Tipos de veículos fabricados durante o projeto (13)

tipo	símbolo	Propósito	Local de Montagem	Conteúdo
Veículos Mula		Tarefas específicas de avaliação de sistemas	Oficina técnica	Peças de prototipagem rápida e de veículo doador
Veículos de Integração		Integração do veículo e avaliação de desempenho	Oficina técnica ou linha de protótipos	Peças protótipo
Veículos Não Vendáveis		Processo final de validação	Planta (linha de produção)	Peças de produção (do fornecedor)
Veículos Vendáveis		Validação do sistema de alimentação fabril	Planta (linha de produção)	Peças finais com produção validada
Veículos de Produção		Início da produção regular	Planta (linha de produção)	Veículo final

Cada montadora ou fornecedor possui seu próprio processo de desenvolvimento. Em termos gerais, as fases de projeto de veículos podem ser assim apresentadas (13):

Definição de portfólio: oferece um guia para a corporação (montadora) sobre o plano e cronograma de portfólio:

- Integra as necessidades de veículos multi-mercados no portfólio global da empresa. Revisa e gera novas oportunidades para o portfólio global.
- Identifica necessidades de novas arquiteturas ou mudanças grandes em arquiteturas já existentes;
- Garante uma estratégia de recursos balanceada na implementação do portfólio global;

Nesta fase as decisões básicas de projeto são tomadas, como o segmento de mercado a ser explorado, a “marca” comercial (*brand*) do produto, regiões do globo a serem consideradas, tipo do veículo a ser desenvolvido (carro de passeio, utilitário, *crossover* etc.), estratégias iniciais de engenharia (reuso, compartilhamento, dimensões etc.), tecnologias e estratégias elétricas a serem empregadas, definições preliminares das famílias de motor e transmissão, e estabelecimento de estratégias de alianças e parcerias com principais fornecedores. Uma lista preliminar de conteúdo é disponibilizada à Engenharia, similar à mostrada no Apêndice B.

Desenvolvimento da Arquitetura Veicular: Nesta fase ocorre a definição da arquitetura do projeto. A arquitetura de projeto é definida como um conjunto de normas de produção e processos multi-regionais que definem:

- Componentes comuns;
- Limites funcionais e de desempenho;
- Sistemas comuns de manufatura;
- Faixa da flexibilidade dimensional;
- Conjunto de interfaces comuns que suportam as estratégias acima citadas.

Nesta fase a área de Planejamento reúne requisitos e desenvolve os planos necessários para a execução do projeto além de refinar o portfólio e as considerações de mercado. A área de Qualidade reúne requisitos de desempenho de qualidade relativo aos demais competidores para desenvolver suas próprias metas. A área de Finanças gera as estimativas iniciais de gastos em investimento e engenharia assim como condições de contorno de custo de materiais. A área de “Design” desenvolve o estilo das superfícies internas e externas do veículo respeitando os requisitos de engenharia e manufatura.

A Engenharia de Produto desenvolve e auxilia no *design* primário do veículo, definindo as interfaces da arquitetura para as principais áreas do veículo (chassis, carroceria, entre outras), desenvolvendo os modelos 3D estruturais do veículo e elaborando as propostas de arquiteturas elétricas. Além disso, fornece a Compras suporte no desenvolvimento dos requisitos técnicos.

As propostas conceituais de arquiteturas elétricas, contendo, de forma superficial, o tipo de tecnologia e solução técnica a serem empregadas e a alocação dos principais sistemas e suas interconexões, serão comparadas, sendo uma delas escolhida como base de desenvolvimento dos diagramas elétricos do veículo no final desta fase.

Figura 28 - Exemplo de uma proposta conceitual de arquitetura elétrica de um veículo popular

Por fim a área de Manufatura desenvolve o plano das atividades de processo e investimento relativo à preparação da linha de produção para este veículo.

Esta fase garante o máximo potencial de valor do plano de portfólio adotado, pois:

- Cria a oportunidade de inclusão de produtos regionais em mercados globais.
- Soma os requisitos dimensionais, regulatórios e de desempenho de multi-mercados, baseando-se na participação de cada região (requisitos regionais de arquitetura), integrando e consolidando estes requisitos em soluções de arquiteturas de alto-nível conceituais.
- Seleciona e desenvolve a lista de peças e materiais, as estratégias de gerenciamento de energia e topologia de chassi e carroceria (sedan, *hatch*, *coupé* etc.), definindo as proporções externas e internas do veículo.
- Estabelece cronogramas e processos comuns, além de volumes preliminares de produção por mercado.
- Assegura que a arquitetura seja desenvolvida considerando a existência de todos os programas futuros e que estes programas utilizem esta arquitetura dentro de seus limites estabelecidos (utilização de arquiteturas globais).
- Desenvolve os primeiros estudos sobre manufatura, qualidade, validação e estudos virtuais sobre o produto.

Estruturação do Projeto: A área de Finanças define as condições imperativas do projeto através da análise e desenvolvimento das condições de contorno financeiras e requisitos baseados nas necessidades do consumidor e de manufatura.

Essas condições servirão de referência para as tomadas de decisão e para análises de retorno financeiro do veículo durante todo seu ciclo de vida. Os trabalhos de planejamento e desenvolvimento de *design*, engenharia e manufatura da fase anterior continuam nesta fase.

Nesta fase se desenvolve uma visão comum de programa e objetivos com a corporação. Estabelece as condições de contorno do projeto, como:

- Posicionamento quanto ao mercado, perfil de consumidor e estratégias de acessórios com conteúdo preliminar do veículo e suas variantes, traduzindo os requisitos corporativos e do consumidor em requisitos técnicos, com a definição de metas competitivas e de estabelecimento de preço;
- Condições financeiras e de manufatura, relativas à escolha de plantas para desenvolvimento do projeto e produção do veículo;
- Desenvolvimento e verificação de soluções de engenharia dentro dos limites da arquitetura, desenvolvendo o conceito de componentes específicos do projeto.
- Desenvolvimento dos planos para os sistemas e componentes (requisições de cotação e nomeação de fornecedores, ferramentais, documentação, entre outras).

Desenvolvimento do Projeto: O evento inicial desta fase é o desenvolvimento do contrato do projeto (escopo e custo de engenharia) e aprovação do estudo de caso. O estilo final do veículo é definido.

Ainda no início desta fase, a arquitetura elétrica do veículo é refinada e uma topologia mais detalhada é apresentada, onde um exemplo deste detalhamento é mostrado no Apêndice C.

Nesta fase a Engenharia recebe do Planejamento as informações, as métricas, as metas e condições de contorno consolidadas do programa com relação a preço,

volume, qualidade, modelos de carroceria, chassis, motor e transmissão, índice de reuso, arquitetura, investimentos e cronograma.

Em cada setor da Engenharia, divididos em Chassis, Carroceria (exterior e interior), HVAC (ar condicionado e sistemas de arrefecimento), *Powertrain* e Elétrica, são geradas propostas de temas de estilo. Estas são estudadas e comparadas, através de modelos digitais ou físicos (*clays*) em diversas escalas, e julgadas por representantes do público-alvo do veículo (através de clínicas). Nas áreas de Elétrica e HVAC, os impactos de cada tema de estilo são estudados, adaptados e viabilizados.

Durante esta fase a arquitetura elétrica é detalhada, gerando diagramas elétricos completos e funcionais, chegando ao nível de definição de conectores, bitolas de cabos, variações de opcionais, entre outros, que servirão de base para fabricação dos protótipos das fases seguintes e também para os veículos de produção no final do projeto com os devidos ajustes incorporados durante a validação do projeto.

A definição dos processos de validação (tipos de testes, cronogramas e quantidade de protótipos) é feita nesta fase. Os processos de nomeação de fornecedores também se iniciam aqui. Ao final desta fase existirá apenas um tema, o qual será seguido pela Engenharia de Produto durante todo o projeto.

Execução do Projeto de Engenharia: Nesta fase cada componente do veículo é desenvolvido e refinado em todos os seus detalhes, em parceria com seus respectivos fornecedores e integradores, se for o caso.

Os desenhos finais de peças e os lotes de peças-protótipos são entregues, e os veículos de integração são montados. As calibrações dos sistemas são finalizadas e as soluções de problemas sistêmicos e de robustez também são desenvolvidas e aplicadas.

Validação do Projeto de Engenharia: Nesta fase é realizado o desenvolvimento dos protótipos conhecidos como Mulas, para teste de funcionalidades específicas de alguns sistemas, como, por exemplo, os de arrefecimento e do conjunto motor-transmissão. Por esta razão, as ferramentas de produção provisórias e/ou finais são produzidas durante esta fase.

Os componentes-protótipos são testados isoladamente, no sistema de que fazem parte e nos veículos protótipos (veículos de integração). Também, testes de durabilidade, desempenho, impacto (*crash-test*) e de homologação são realizados.

Desenvolvimento e Validação de Manufatura e Produção: Nesta fase são desenvolvidos, produzidos, implementados e testados os processos de manufatura de peças, tanto nos fornecedores como na montadora, e da linha de produção da montadora, através da montagem de pequenos lotes de veículos, primeiramente não vendáveis e, posteriormente, vendáveis. A partir de sua aprovação, o veículo entra em produção regular, atendendo a velocidade de produção requerida.

2.2.2 Definição de visão do produto

Determinar a visão (ou direção) para o desenvolvimento de um produto é uma responsabilidade que envolve as principais áreas de uma empresa de sistemas eletrônicos (48).

As áreas de Marketing e Vendas são responsáveis por determinar quais produtos são requeridos ou desejados pelos consumidores finais e também pelos fabricantes de automóveis. Estas necessidades são traduzidas como requisitos de projeto (48).

De posse destes requisitos, a Engenharia define as tecnologias a serem empregadas, que serão desenvolvidas ou refinadas. Um fator chave neste processo é juntar os requisitos e as tecnologias selecionadas para determinar o ajuste e o tempo necessário para desenvolvimento do produto. Vale lembrar que novas tecnologias para novos produtos também devem ser disponibilizadas ou compatíveis para produtos já existentes, o que estimula o desenvolvimento de novas estratégias de produtos (48). As principais considerações técnicas e de mercado são descritas no tópico seguinte.

2.2.2.1 Considerações de mercado

As considerações de mercado englobam aspectos sócio-demográficos, político-econômicos, ambientais e de negócios relacionados à tecnologia, e são descritas a seguir (48):

- Os aspectos sócio-demográficos incluem fatores como a expectativa de vida maior, preferências das gerações (como no caso da geração X, com telefones

celulares e internet), centros urbanos com expressivo aumento populacional, e de infra-estrutura;

- Os aspectos de negócios relacionados à tecnologia dizem respeito à atual explosão da tecnologia computacional, de comunicação e os desenvolvimentos feitos nas áreas de produtos eletrônicos e serviços de pós venda, tornando-os fontes importantes de geração de lucros e de diferenciação entre produtos;
- Os aspectos político-econômicos dizem respeito à própria globalização da indústria automotiva (engenharia, manufatura e fornecimento), à redução do ciclo de vida dos produtos e à competição global, devido aos novos competidores oriundos de mercados antes remotos.
- Aspectos ambientais e regulatórios são preocupações constantes para a indústria automotiva, ainda mais quando considerado a globalização dos mercados. Redução da poluição, economia de energia, utilização de materiais reciclados e o descarte dos produtos, quando terminada sua vida útil são os principais itens discutidos atualmente. Novas leis e regulamentações, muitas específicas para determinados mercados, como as normas EURO (I, II, III, IV, V e VI), a FMVSS americana (*Federal Motor Vehicle Safety Standard*) e a CARB (*California Air Resource Board*), mostram como o grau de exigências pode ser específico de cada mercado ou parte dele.

As expectativas do mercado são muitas, destacando a melhoria na qualidade, alto grau de funcionalidade e maior rapidez no lançamento de novos produtos a preços competitivos. O mercado também espera pela globalização dos produtos, mas com diferenciações regionais.

Novos produtos devem ser integrados em sistemas modulares que possibilitem o ajuste para cada aplicação individualmente. O avanço da sempre desejada tecnologia deve proporcionar confiabilidade e inovação (48).

2.2.2.2 Considerações de engenharia

Um dos maiores desafios da engenharia no desenvolvimento de novos sistemas e produtos é o aumento da complexidade das funções e do *design* a ser adotado, o que também pode ser traduzido como custo por função. Os novos sistemas serão cada vez mais complexos e com um número cada vez maior de funções (Figura 29

(42)). Portanto, o grau de integração destes novos sistemas deverá ser muito maior do que os atuais, no que diz respeito ao tamanho, massa e volume reduzidos, que continuarão sendo o principal diferencial de mercado (48).

Figura 29 - Aumento de funções (*features*) em sistemas elétricos, eletrônicos e de software (EES) em mercados desenvolvidos (42)

Com produtos de tamanhos e volumes reduzidos, o desempenho também se torna crítico. O aumento da potência e velocidade computacional passa a ser fundamental, seguindo a mesma tendência vista hoje na informática doméstica e nos escritórios, com softwares cada vez mais complexos, exigindo maior desempenho do hardware.

2.2.2.2.1 Evolução versus obsolescência

Outro grande desafio da engenharia é disponibilizar as novidades tecnológicas nos veículos antes que estas se tornem obsoletas para o consumidor.

Levando-se em consideração que projetos típicos de novos veículos levam até quatro anos para serem finalizados (produzidos), e que as inovações eletrônicas ocorrem com uma velocidade muito superior, vide o mercado de eletrônicos, como celulares, computadores etc., o planejamento destas novas funções deve ser feito com grande antecedência, porém a integração propriamente acaba ocorrendo somente nas etapas finais de projeto (42). Em suma, o grande problema enfrentado é o curto ciclo de desenvolvimento de componentes e sistemas eletrônicos versus o longo ciclo de desenvolvimento de um veículo.

A Engenharia também precisa ter a habilidade de atualizar o conteúdo de veículos já em produção com as novas funções requeridas pelo mercado. Tradicionalmente, sistemas eletro-eletrônicos e de software têm pouca flexibilidade para atualizações de funcionalidades (*upgrades*) e de adição de conteúdo de pós-vendas (acessórios), em função destas não estarem disponibilizadas na manufatura do veículo (42). Isto se deve principalmente às limitações de hardware (pela falta de padronização de interfaces, a limitação da capacidade de processamento e de expansões de I/Os) como de software (pela falta de compatibilidade entre sistemas de dados, protocolos e soluções dedicadas).

Em suma, tanto montadoras como fornecedores precisam desenvolver arquiteturas elétricas e softwares de modo que a introdução de novas funções ocorra de modo mais efetivo, suportando as estratégias financeiras e mercadológicas adotadas para o veículo e voltadas para o segmento de mercado destinado.

Um grande passo neste sentido é a independência do desenvolvimento dos sistemas elétricos, eletrônicos e de software do desenvolvimento de *powertrain* (trem de força), chassis e carroceria. Esta dependência tem, historicamente, interferido negativamente na capacidade de se adicionar conteúdo de hardware e software em projetos que estão em desenvolvimento, mas ainda não estão em fase de produção. Como exemplo desta busca pode-se citar o desenvolvimento de interfaces padronizadas, o desenvolvimento e a adoção de sistemas abertos (*open systems*) de engenharia (42).

2.2.2.2.2 Estratégias de arquiteturas quanto ao reuso

Uma grande ferramenta para diminuição do custo e tempo de desenvolvimento é o reuso de componentes e sistemas já existentes e validados. O reuso pode ser visto em três dimensões (49):

- Reuso de componentes comuns e padronizados (*plug and play*), os quais não são visíveis ao consumidor, como conectores, interruptores e buzinas. Utilizar uma bateria CCC (*corporate common component*), por exemplo, oferece um conhecido “envelope” para sua alocação, além de ter seus requisitos de montagem, de capacidade de carga e de parâmetros de qualidade já conhecidos pela montadora. Isto resulta em menos trabalho de engenharia necessário, processos de nomeação de fornecedores mais simples e rápidos e sem prejuízo

no desempenho e na qualidade do componente, independentemente do fornecedor escolhido;

- Reuso de sistemas ou subsistemas (módulos eletrônicos), que possam ser utilizados em diversos veículos da mesma plataforma. Como em grande parte os sistemas não são vistos ou tocados pelo usuário, a sua percepção é obtida por seu desempenho. Portanto o objetivo desta estratégia é atingir o desempenho e os requisitos desejados pelo usuário através da reutilização de sistemas bem definidos, validados e utilizados em uma ampla gama de modelos, aumentando o volume de produção destes sistemas, o que pode gerar vantagens comerciais para toda a cadeia. Neste caso, a Engenharia pode focar seus esforços na aplicação e não no desenvolvimento básico do sistema;
- Flexibilidade de estilos para reuso de elementos estratégicos de um sistema (rádio ou painel de instrumentos) pode ser alcançada através do uso de interfaces comuns ou padronizadas. Portanto, pode-se ter componentes com até 90% de reuso, variando-se apenas detalhes estéticos, mas sem a necessidade de revalidação extensiva de seu conteúdo ou de estudos de montagem. Dependendo deste grau de padronização, o componente ou sistema pode ser classificado em um dos quatro grupos, mostrados na figura a seguir (49):

Figura 30 - Exemplos de estratégias de reuso (49)

2.2.2.2.3 Estratégias de arquiteturas quanto à modularidade e flexibilidade

Como já visto, uma das “ferramentas” utilizadas na definição de uma arquitetura é a centralização ou distribuição de módulos pelo veículo. Esta “ferramenta” está intimamente ligada com o grau de modularidade e flexibilidade utilizados.

Reilhac e Bavoux (50) definem cinco configurações, sob o ponto de vista de modularidade e flexibilidade, que tanto podem ser aplicadas na topologia geral da arquitetura, como em sistemas e funções específicos:

- Configuração independente: quando a função é implementada independentemente de outras, utilizando circuitos e controles dedicados. Possui baixa modularidade e baixa flexibilidade, conforme mostrado na Figura 31 (50);

Figura 31 - Exemplo de configuração independente (50)

- Configuração centralizada: quando a função é implementada através de uma unidade eletrônica de chaveamento, a fim de possibilitar a integração de estratégias de software e de interação funcional, conforme mostrado na Figura 32 (50);

Figura 32 - Exemplo de configuração centralizada (50)

- Configuração localizada: quando a função é implementada através de uma unidade eletrônica de chaveamento local, reduzindo quantidade de fios e quedas de tensão, pelo fato de o chaveamento ser feito próximo às cargas, conforme mostrado na Figura 33 (50);

Figura 33 - Exemplo de configuração localizada (50)

- Configuração modular: quando a função é implementada através de uma unidade eletrônica de chaveamento modular ou um módulo de funções básicas, utilizando módulos dedicados nas diversas zonas geográficas (frontal, traseira, compartimento de passageiros, de carga) do veículo, reduzindo fios, distribuindo o processamento e facilitando o gerenciamento das cargas elétricas, conforme mostrado na Figura 34 (50);

Figura 34 - Exemplo de configuração modular (50)

- Configuração inteligente: quando a função é implementada através de sensores (como os switches inteligentes mostrados nos itens 2.1.4.2 e 2.1.4.3) e atuadores inteligentes, garantindo flexibilidade para componentes de baixo nível hierárquico, possibilitando inclusive o uso de componentes do tipo *plug and play* diretamente conectados ao barramento de dados. É a configuração que apresenta a maior modularidade e flexibilidade, conforme mostrado na Figura 35 (50).

Figura 35 - Exemplo de configuração inteligente (50)

2.2.2.2.4 Integração de sistemas

O aumento da eletrônica embarcada trouxe melhoras consideráveis nos sistemas eletromecânicos, não só pelo fato de substituir atuadores mecânicos antes baseados em relés por módulos e semicondutores, mas também por promover a integração

dos diversos sistemas veiculares, distribuindo e compartilhando o processamento de dados através de redes seriais (24).

Hans-Georg Frishkorn (38), acredita que esta integração depende de dois fatores cruciais, primeiro, do processo de desenvolvimento dos sistemas e, segundo, da padronização e utilização de arquiteturas abertas, modulares e hierarquicamente estruturadas.

O primeiro diz respeito à cooperação entre fornecedores e montadoras, através do trabalho conjunto e coordenado entre as partes. A segunda diz respeito à cooperação de todo o segmento automotivo, englobando a padronização de interfaces, protocolos, além de sistemas e funções básicos proporcionará um aumento na reutilização de componentes já consagrados, uma diminuição no tempo de desenvolvimento de software e hardware além de permitir a verificação e validação de suas funções desde as primeiras fases do desenvolvimento do projeto. Com isso, atualizações e melhorias de software serão mais simples e de fácil implementação, garantindo também a compatibilidade entre fornecedores e montadoras. Ainda que pareça contraditório, esta padronização irá possibilitar uma maior diferenciação entre aplicações e *features* via software, através de calibrações e desenvolvimento de funções distintas, porém baseadas em interfaces hardware-software (sistemas operacionais) comuns, assim como ocorre hoje no mercado de informática (38).

2.2.2.2.5 Metodologias de desenvolvimento

Mudanças na definição de uma arquitetura só se tornam exeqüíveis quando os processos e metodologias de desenvolvimento também acompanham estas mudanças.

Portanto, a abordagem sistêmica dada hoje às arquiteturas também é encontrada nos processos de desenvolvimento de projeto relacionados.

O processo de engenharia serial clássico (*bottom-up*), nos quais os requisitos de projeto são refinados em cada fase, toda vez que se atinge um ponto crítico (*milestone*), requer um retrabalho constante (e cada vez maior a cada fase alcançada), tornando o processo arriscado e oneroso (51).

Portanto, a visão “projetar → construir → corrigir”, onde cada departamento ou área de engenharia atua de forma linear e estritamente voltada às suas próprias necessidades ou requisitos, torna-se ineficiente, uma vez que grande parte do esforço de desenvolvimento é gasto em retrabalhos e na solução de conflitos internos entre as áreas, como ilustra a Figura 36.

Figura 36 - Esforços utilizados em projetos tradicionais (fig. sup.) e utilizando visão sistêmica (fig. inf.) (52)

O processo sistêmico (*top-down*) direcionado aos requisitos de projeto leva em consideração todos os dados de entrada e complexidade desde as fases iniciais do projeto, reduzindo custos, tempo e retrabalho. Neste sistema, a abordagem se inicia a partir do ponto de vista do sistema e não do componente, isto é, os componentes são desenvolvidos para atender as necessidades dos sistemas e não o contrário, quando os sistemas são re-adequados para receber determinados componentes (48).

Este tipo de abordagem é em grande parte viabilizado pelas ferramentas virtuais hoje existentes, onde a análise virtual assume um papel fundamental neste processo. A disponibilidade de dados em formato eletrônico aumenta e acelera a interação entre áreas e fornecedores. Hoje, o hardware deve ser passível de simulação via software para que sua validação possa ser feita em diversas condições controladas que assegurem sua funcionalidade (48).

Na utilização de processos de abordagem sistêmica, grande parte das mudanças de engenharia ocorre nas fases iniciais de projeto, pois a análise inicial é mais

complexa e detalhada pelo fato desta análise servir como direcionamento para o desenvolvimento de todos os componentes do sistema. Já no processo tradicional estas mudanças acabam ocorrendo próxima à data final de produção, o que eleva o custo destas mudanças, impactando na cadeia de fornecedores e na própria produção. Estas diferenças quanto às mudanças no projeto e tempo de lançamento do produto (sob o aspecto qualitativo) podem ser vistas no “gráfico” a seguir (51):

Figura 37 - Comparativo entre mudanças de engenharia e tempo de lançamento de acordo com as abordagens de projeto (51)

A abordagem sistêmica também modifica o processo de integração, fazendo com que a necessidade de protótipos, um dos itens mais caros do projeto, possa ser reduzida, sendo necessária apenas nas fases finais de projeto (51).

Frischkorn (38) afirma ainda que, atualmente, 80% da integração de sistemas ainda ocorre pelo processo reativo. No futuro, estas atividades serão predominantemente desenvolvidas pelo processo *top-down*, sendo o trabalho realizado de forma mais proativa e integrativa ainda nas primeiras fases do projeto.

2.3 MERCADOS AUTOMOTIVOS E A ADEQUAÇÃO DE PRODUTOS E ARQUITETURAS ÀS SUAS NECESSIDADES

O mercado de veículos de passeio e utilitários leves representou em 2007, no mundo, um giro de mais de 933 bilhões de dólares (53), totalizando a comercialização de mais de 71 milhões de veículos novos, o que representou um crescimento de 4,0% deste mercado em relação ao ano anterior (Figura 38 (53)), mostrando uma redução em seu crescimento.

Figura 38 - Valor do mercado mundial de veículos novos (2003-2007) em dólares (53)

A participação de cada região do globo pode ser vista na Tabela 5 (54) e na sua forma gráfica (em porcentagem) na Figura 39 (54).

Tabela 5 - Vendas mundiais de veículos em 2007 (em unidades)

Região	Carros	Caminhões	Total 2007	Total 2006	Crescimento
Ásia-Pacífico	19.198.854	3.728.731	22.927.585	21.955.326	4,4%
Europa	14.727.330	6.692.764	21.420.094	20.006.929	7,1%
América do Norte	9.379.152	9.993.099	19.372.251	19.990.300	-3,1%
América do Sul e Central	3.336.011	1.072.092	4.408.103	3.617.424	21,9%
Oriente Médio	1.907.938	459.110	2.367.048	2.184.292	8,4%
África	947.718	458.057	1.405.775	1.372.337	2,4%
TOTAL	49.497.003	22.403.853	71.900.856	69.126.608	4,0%

Fonte: (54)

Figura 39 - Participação dos blocos geográficos no mercado mundial de automóveis (passeio e utilitários) (54)

O mercado como um todo se encontra em expansão. Porém, o comportamento das regiões globais tem seguido direções e intensidades de crescimento distintas. Mercados desenvolvidos e tradicionais (norte americano, europeu e japonês) mostram certa estagnação em seu crescimento, enquanto mercados emergentes,

mais novos e com maior potencial de crescimento (chinês, indiano e brasileiro), apresentam um crescimento acentuado, como pode ser visto na Figura 40 (54), onde mostra a tendência destes mercados até 2012 (dados obtidos antes da crise de novembro de 2008).

Figura 40 - Evolução dos principais mercados automotivos (dados históricos 2004 a 2007 e estimados 2008 a 2012) (54)

As estimativas apontadas para o setor não se concretizaram em 2008, devido a uma grave crise global de crédito; o mercado automotivo mundial decresceu fortemente e, em apenas oito meses, presenciou-se uma queda abrupta de 23,5% na produção global, como mostra a Figura 41 (55).

Figura 41 - Taxa anual de produção mundial de veículos (de 2000 a 2008, ajustada pela sazonalidade), em milhões de unidades (55)

Os mais afetados foram os mercados desenvolvidos. Somente o mercado norte-americano apresentou uma queda de 40% de 2007 a 2009, como mostrado na Figura 42 (55).

Figura 42- Taxa anual de produção norte-americana de veículos (ajustada pela sazonalidade), em milhões de unidades (55)

2.3.1 Mercados desenvolvidos

Os mercados desenvolvidos (norte-americano, europeu e japonês), representam praticamente 80% do mercado global de veículos.

Porém, estes competitivos mercados mostram sinais de saturação: apesar dos mercados da NAFTA (*North American Free Trade Agreement*), Europa Ocidental e Japão ainda serem os mais importantes mercados mundiais, o seu crescimento projetado mostra-se em ritmo de desaceleração, com crescimento entre zero e 2%. Por isso, qualquer aumento de participação de mercado por alguma montadora representa a diminuição de outra. Esta saturação de mercado força as montadoras a reduzir sua capacidade fabril e acirrar sua disputa por mercado, através do estabelecimento de vantagens competitivas, como aumento da variedade de produtos e funções em menor tempo de desenvolvimento (56).

A recente crise mundial agravou ainda mais esta situação. Dados recentes fornecidos por uma das maiores montadoras do mundo mostram o profundo impacto

desta crise nos resultados e expectativa do setor para os próximos anos. Neles, fica claro a estabilidade destes mercados até 2007, apresentando queda forte a partir de 2007, cuja previsão é de uma queda acumulada de 35% em 2009. É esperada a retomada do crescimento do mercado europeu e da atividade normal do mercado americano, vistos em 2007, somente em 2014, conforme mostrado pelas Figura 43 e Figura 44 (55).

Figura 43 - Produção anual de veículos no mercado norte-americano (dados históricos de 1998 a 2008 e projetados de 2009 a 2014), em milhões de unidades (55)

Figura 44 - Produção anual de veículos no mercado europeu (dados históricos de 1998 a 2008 e projetados de 2009 a 2014), em milhões de unidades (55)

Por esta razão as grandes montadoras estão dirigindo seus focos para mercados com maior tendência de crescimento e retorno financeiro, que é o caso dos mercados emergentes.

2.3.1.1 Perfil de consumo e características de produto em mercados desenvolvidos

Os veículos em mercados desenvolvidos são caracterizados pela grande variedade e número de funções, em virtude do perfil de seus consumidores que veem na personalização do conteúdo dos veículos o seu diferencial de escolha na hora da compra. Logo, tecnologia e inovação têm grande peso para o consumidor destes mercados (9; 29).

Estes mercados também possuem legislações mais rigorosas, que obrigam as montadoras a desenvolver sistemas avançados de segurança, de economia de combustível e de controle de emissões (9; 29).

Este panorama explica a grande complexidade das arquiteturas elétricas nestes mercados, assim como sua utilização intensa de tecnologia de ponta e conceitos avançados de sistemas eletrônicos. Não é por acaso que todas as tendências apontadas na sessão 2.1.4 deste trabalho se referem aos produtos destinados a tais mercados, como o aumento no número de módulos eletrônicos e o uso intenso de sistemas multi-rede e distribuídos.

2.3.1.2 Fatores determinantes na seleção da arquitetura em mercados desenvolvidos

Diante da grande complexidade das arquiteturas e da enorme variedade de tecnologias e estratégias de projeto disponíveis nos mercados desenvolvidos, a tarefa de escolher entre as diversas arquiteturas encontradas para dado projeto tornam-se cada vez mais complexas.

Diversos fatores e restrições entram em jogo na escolha da arquitetura elétrica em mercados desenvolvidos, quanto ao particionamento dos sistemas elétricos e eletrônicos e na alocação das funcionalidades dentro dos módulos eletrônicos (9; 29):

- Influência da mudança de requisitos: os requisitos para arquiteturas não são fixos; eles estão sempre mudando, evoluindo rapidamente conforme as necessidades do mercado, legislação, normas etc. As mudanças podem ser profundas a tal ponto de ser necessário rever o particionamento ou até o conceito da arquitetura adotada até então. Por isso, a análise do ciclo de vida do produto e sua possível evolução dentro deste período tornam-se fundamentais;

- Custo e tempo de lançamento de produto (*time to market*): determinado pela análise de quanto do veículo atual será herdado pelo próximo modelo. Obviamente, esta relação é diretamente proporcional ao grau de diferenciação deste novo veículo em relação ao seu antecessor. Caso seja apenas um projeto pequeno, de mudança apenas cosmética, conhecida na indústria automotiva como mudança de *model year*, ou quando um pouco mais intensa, como um *face-lift*, este grau de aproveitamento será alto e o tempo de projeto será menor.

No caso de um projeto de um modelo completamente novo, maiores mudanças ocorrerão e maiores dificuldades serão encontradas na reutilização de componentes, conhecidos como *carry-over components*. As limitações do reuso de peças se encontram principalmente nas suas interfaces, afetando diretamente o particionamento a ser adotado pela arquitetura. Assim, com mais componentes novos a serem desenvolvidos, maior será o custo e o tempo necessário ao projeto.

Uma tendência evidenciada atualmente é a da iniciativa das montadoras em definir, elas próprias, a arquitetura de suas principais plataformas. Porém para os veículos especiais e de nicho, esta responsabilidade tem sido passada para os integradores de sistemas, além das responsabilidades de fornecimento, com o intuito de reduzir assim o tempo de lançamento ao mercado (32).

- Utilização de soluções de mercado ou proprietárias: interferem diretamente no custo e tempo de projeto. Apesar de serem feitas sob medida às necessidades da empresa ou projeto, soluções proprietárias tendem a ser mais demoradas e caras devido à maior necessidade de recursos no seu desenvolvimento e validação. As constantes mudanças de requisitos também podem ter um maior impacto nestas soluções. Soluções de mercado ou padrão podem trazer uma maior economia e menor tempo de desenvolvimento, mas podem diminuir a vantagem competitiva entre os produtos, principalmente entre montadoras;
- Manufatura e montagem: podem ser muito restritivas ao *design*. O tamanho físico do módulo ou componente, o tipo e tamanho dos conectores e do chicote elétrico e a localização física destes componentes pode impactar seriamente os processos e fases de montagem e produção.

- Alocação física dos módulos e componentes: além de impactar a manufatura e montagem de sistemas, a alocação física de componentes pode trazer consigo mudanças na arquitetura elétrica, nas estratégias de particionamento, como no caso da utilização ou não de sistemas de proteção primária para bateria, e também nos requisitos dos componentes envolvidos ou como no caso da alocação de módulos críticos, como o de controle do motor (ECM). A Figura 45 (48) mostra como os requisitos de temperatura e de vibração aumentam dependendo da localização do módulo, sendo muito mais rigorosos em aplicações onde o módulo é instalado diretamente no motor. Requisitos mais severos implicam em componentes mais robustos, o que, por sua vez, significa um maior custo agregado.

Figura 45 – Alocação física: aumento da severidade ambiental (temperatura e vibração) em uma ECM (módulo de controle de motor) conforme a escolha de sua localização física (48)

No caso do particionamento, fatores como a concentração de componentes e módulos em determinadas áreas também são determinantes, podendo ser feita de forma visual através da topologia de alocação do veículo, como mostra a Figura 46 (41);

Figura 46 - Exemplo de seleção de áreas de concentração (41)

- Peso: regulamentações nacionais e internacionais sobre emissões e economia de combustível são grandes limitantes para os fabricantes de automóveis (9). Requisitos de órgãos reguladores como o CAFE (*Corporate Average Fuel*

Economy), para carros de passeio e caminhões vendidos nos Estados Unidos, afetam diretamente as metas e requisitos de peso e, portanto, desempenho dos veículos. Ainda que a eletrônica embarcada tenha pouca participação no peso total de um veículo, ela possui também metas de redução de peso a serem cumpridas.

- Qualidade, confiabilidade, manutenção: são fatores de grande importância no design de sistemas elétricos e eletrônicos. A indústria automotiva japonesa já emprega normas de qualidade, confiabilidade e manutenção em seus produtos desde o início dos anos 80. No entanto, como a melhoria destes fatores implica em aumento de custo, sua razão custo/benefício deve ser gerenciada, afetando o *design* dos sistemas elétricos e eletrônicos.

Nada interessa que um veículo possua um sistema elétrico sofisticado se este não possuir uma manutenção rápida e de baixo custo. Quando esta situação prevalece, o sistema não se populariza entre os consumidores e nem entre as montadoras, pois acabam sendo obrigadas a adotar políticas de garantia mais custosas.

- Normas industriais: também têm grande importância na definição da arquitetura elétrica de um veículo, pois elas viabilizam algumas inovações e tendências de mercado fixam-nas na indústria automotiva, como no caso do crescimento da indústria de multimídia. Percebendo esta tendência, as principais montadoras se uniram e criaram a AMIC (*Automotive Multimedia Interface Collaboration*) com o intuito de estabelecer normas para definir os padrões de interface para sistemas multimídia automotivos, possibilitando assim tirar um maior proveito destes sistemas e da tendência de crescimento deste mercado.

Estas normas também afetam a alocação física das funções veiculares. Por exemplo, as normas da SAE dizem onde as interfaces para o motorista devem ser localizadas, como o interruptor de luz à direita da coluna de direção e os controles de ar condicionado à direita.

- Imagem da Marca: a marca de um veículo é um fator de muita influência no mercado automotivo. A marca é um diferencial em veículos, pois agrega as qualidades objetivas e subjetivas dos fabricantes ao produto. Muitos consumidores escolhem veículos cujo apelo reflita seus estilos, o que explica o

trabalho empregado pelas grandes montadoras para criação da imagem de suas marcas no mercado (32). Este fator é estendido aos seus sistemas, daí a importância das relações e parcerias com fornecedores e integradores.

- Estratégias de modularidade e plataformas de veículos: o compartilhamento de plataformas ou modularidade de sistemas do veículo trazem melhorias na qualidade e confiabilidade do produto, além do aumento da flexibilidade das linhas de montagem, o que pode ser traduzido também como redução de custos (56). Para a arquitetura, estas estratégias podem influenciar sua concepção, limitando algumas estratégias ou aumentando os requisitos e funções necessários.

Apesar de todos estes limitantes, o engenheiro de arquitetura conta com diversas alternativas a serem consideradas:

- Classificação funcional: A classificação funcional separa funções críticas de segurança das funções não relacionadas com segurança. Funções críticas são classificadas como Classe C. Alguns exemplos são lâmpadas de farol baixo e de freio, limpadores dianteiros, desembaçador dianteiro e *airbag*, entre outras. Estas funções normalmente possuem alimentação, fusíveis e aterramento exclusivos e sistemas de redundância para casos de falha, como no caso do acionamento do automático do farol baixo quando o interruptor de farol está inoperante. A separação destas funções tem ainda como objetivo evitar que todas as funções críticas fiquem concentradas em um único módulo ou que ocorra uma mistura de classes funcionais em um módulo (9).
- Opcionais levando em consideração penetração de mercado, definição de pacotes e volumes: Estas condições são fundamentais para a definição do grau de integração das funções veiculares. Tipicamente, se uma função aparece em mais de 50% das configurações existentes, acaba sendo mais interessante, do ponto de vista de custo, a integração desta função em um módulo que possua outras funções semelhantes (9), como no caso da função de destravamento remoto das portas ser executada pelo módulo de travamento elétrico, ou ainda das funções de levantamento de vidros e alarme serem executadas pelo mesmo módulo de travamento elétrico.

No entanto, quando o volume total de produção é considerado, pode fazer mais sentido manter módulos separados destas funções. Por exemplo, se a integração das funções de vidro, trava e alarme é predominante nos pedidos de varejo de um determinado veículo, mas este volume ainda é baixo quando comparado ao volume total produzido, imaginando que os pedidos de frotistas sejam a grande maioria e destes, a totalidade peça somente os sistemas de vidro e trava elétricos, provavelmente a integração da função alarme não seja a melhor escolha.

- Proliferação de peças: conceito bastante empregado no desenvolvimento de chicotes elétricos. A idéia é analisar a variação do conteúdo funcional do componente nas diversas variações de opcionais do veículo ou plataforma e definir se é mais viável utilizar um único componente para todos os casos, ou desenvolver um componente para cada aplicação. Em chicotes elétricos, assim como caixa de relés e fusíveis, este conceito é empregado com o intuito de reduzir o número de variações de chicotes, sem prejudicar o custo da configuração básica do veículo. Apesar de poder representar um aumento de custo de material empregado no chicote propriamente dito, a redução observada na complexidade da linha de produção e no gerenciamento e tamanho de estoque do fornecedor, pode trazer reduções significativas de custos, quando analisados o projeto e o contrato de fornecimento como um todo;
- Utilização de sistemas distribuídos e multiplexados: dizer que um sistema é distribuído e multiplexado significa dizer que sua eletrônica está fisicamente próxima aos seus componentes, sejam de entrada, como sensores, ou de saída, como atuadores, suas funções estão distribuídas entre diversos módulos, que se comunicam via rede serial, através da multiplexação de dados. Este tipo de configuração tem suas vantagens e desvantagens: conforme Rushton (9), suas vantagens são o custo e peso reduzido, devido ao compartilhamento de dados através de uma rede serial, isso tendo como base o mercado americano. As desvantagens seriam a maior dificuldade no diagnóstico e manutenção e na maior dificuldade de reutilizar seus componentes em outros veículos.
- Utilização de sistemas centralizados e discretos: Um sistema deste tipo normalmente possui poucos módulos eletrônicos, onde todas as entradas e

saídas são feitas por meio discreto (fios). Esta solução pode ser mais cara, porém seu diagnóstico é mais fácil. Este tipo de configuração é bastante comum na indústria de computação, porém não é tão comum na indústria automotiva devido ao seu custo e baixa flexibilidade.

- Isolamento de funções: sistemas isolados, e não integrados a outros sistemas, maximizam a integração funcional, pois todas as funções e dados necessários encontram-se dentro do próprio sistema, porém minimizam a interação entre módulos de funções não relacionadas. Esta isolação permite grande flexibilidade na adição ou remoção de funções. Além disso, pode trazer vantagens adicionais quando utilizadas simultaneamente em diversas plataformas de veículos que permitam a utilização deste tipo de configuração. Por outro lado, podem causar um alto custo em determinadas configurações de veículos (9).

Diversos exemplos deste tipo de sistema podem ser encontrados na indústria automotiva, como sistemas de controle de velocidade, sistemas de ABS e sistemas de áudio. Importante notar que todos estes exemplos são hoje definidos como sistemas opcionais nos veículos, onde a alta flexibilidade na adição e remoção da função é fundamental.

- Capacidade do hardware: a capacidade dos módulos adotados em um projeto também pode afetar a arquitetura e o particionamento dos sistemas eletrônicos. Um exemplo ocorre quando se imagina que um módulo seja equipado com uma bateria interna para evitar a perda de dados em determinadas condições. Em determinado momento, torna-se necessário utilizar a mesma estratégia em todos os outros módulos. Ao invés de introduzir um sistema de bateria em cada módulo, pode-se fazer com que o sistema deste módulo supra as necessidades dos outros módulos, caso tenha capacidade para isso. Esta solução pode resultar em uma redução de custos significativa, pois não requer grandes alterações nos demais módulos, apesar de aumentar a complexidade do sistema, devido ao aumento do número de circuitos, e tornar o seu diagnóstico e manutenção mais difíceis, pois a maior probabilidade de falhas devido ao maior número de terminais e conectores. Outro exemplo é a utilização de processadores mais potentes (de 32bit) no módulo de controle de carroceria (BCM). Isto causaria o aumento do custo deste módulo, porém poderia diminuir o

custo em outros módulos e componentes relacionados, como no painel de instrumentos e no controle climático, uma vez que o processamento de suas funções não precisaria mais ser realizado neles (32).

- Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo (da versão básica à versão completa): outro fator que tem impacto na definição da arquitetura é o particionamento dos sistemas. De acordo com a classificação do veículo, certas funções tornam-se básicas, outras opcionais. Um veículo de luxo possui muito mais funções adicionais e opcionais do que um veículo básico (popular). Por esta razão, veículos de luxo podem ter arquiteturas e particionamento diferente de um carro popular ou de um utilitário.

Ainda dentro de uma plataforma, ou de uma família de veículos, encontramos níveis de opcionais diferentes quando comparamos a configuração do veículo de entrada (versão básica ou *low-end*) à configuração de luxo (versão completa ou *hi-end*) (29). A arquitetura deve ter flexibilidade suficiente para atender todas as situações, sem comprometer o custo/benefício da plataforma ou família de veículos.

- Homologação veicular: veículos destinados para mercados distintos, principalmente América do Norte, Europa e Japão, possuem diferentes requisitos de funções ou modos de funcionamento diferenciados para as funções. Devido a estas diferenças entre mercados e órgãos regulatórios, o fator “país” pode ser considerado como um opcional – ainda mais quando se trata de modelos globais de veículos ou a serem “nacionalizados” para novos mercados (9).

2.3.2 Mercados emergentes

A lista de países integrantes deste segmento pode variar ligeiramente, dependendo da entidade financeira consultada. Para a MSCI (*Morgan Stanley Capital International*) (57), existem 25 países nestas condições: Argentina, Brasil, Chile, China, Colômbia, República Checa, Egito, Hungria, Índia, Indonésia, Israel, Jordânia, Coréia do Sul, Malásia, México, Marrocos, Paquistão, Peru, Filipinas, Polônia, Rússia, África do Sul, Taiwan, Tailândia e Turquia, sendo os principais também conhecidos como BRIC: Brasil, Rússia, Índia e China.

Estes mercados mostram grandes potenciais de crescimento, ao contrário dos mercados desenvolvidos. Apesar de seu menor volume quando comparado aos mercados tradicionais, suas taxas de crescimento, que antes da crise de 2008 se mantinham entre 5% e 8% (56), continuam positivas.

Nestes mercados a influência dos governos é decisiva no incentivo às vendas, seja por taxas de impostos reduzidas para determinados segmentos do mercado ou medidas protecionistas, como taxas elevadas de importação.

O mercado brasileiro, por exemplo, teve um crescimento de 12% em 2007, atingindo quase dois milhões de unidades vendidas. Parte deste crescimento se deve às práticas governamentais de redução de impostos em veículos populares de baixa cilindrada, taxas de financiamento reduzidas, devido ao controle da inflação, e acordos de livre comércio com a Argentina e México (58).

De acordo com a ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), este crescimento deveria atingir a marca de três milhões de unidades ao ano em 2010 (59) antes da crise de 2008. Marcelo Cioff (60), acredita que este patamar será atingido em 2011.

O mercado argentino, menor que o brasileiro, teve um crescimento de 29% em 2007, atingindo 450 mil unidades vendidas.

O mercado chinês teve um crescimento de 21% em 2007, em relação ao ano anterior, praticamente o dobro do crescimento do mercado japonês no mesmo período. Com mais de 250 modelos deferentes disponíveis, foram comercializados um total de 5,2 milhões de veículos de passeio no ano (61).

No geral, o mercado Pacífico-Asiático (AP), onde se incluem os mercados chinês, russo e indiano, apresentou um crescimento de 8,2% em 2007, com um volume de 14,1 milhões de veículos (Figura 47 (53)). As previsões até meados de 2008 eram de que estes mercados deveriam atingir 18,4 milhões em 2012, um crescimento de 30,1% em apenas cinco anos (53).

Figura 47 – Previsão, antes da crise de 2008, para o mercado da Ásia-Pacífico até 2012 (53)

Diferentemente dos mercados desenvolvidos, os mercados emergentes são extremamente sensíveis ao preço e, por isso, a demanda por conteúdo eletrônico e novidades de ponta aparece de forma contida. Por exemplo, vidros e travas elétricos estão presentes em menos de 60% dos veículos na América Latina. Isto não se deve à falta de vontade dos consumidores em ter esta comodidade, mas sim devido ao custo adicionado ao veículo (25).

A crise mundial de 2008 também afetou estes mercados, porém de forma menos intensa. Isto pode ser verificado nos dados recentes publicados sobre o mercado automotivo (55).

O volume de produção para os mercados emergentes dobrou nos últimos dez anos (Figura 48 (55) e Figura 49 (55)). Mesmo com a crise, a tendência ainda é de alta, continuando a bater recordes históricos tanto no mercado pacífico-asiático, a partir de 2010, como no mercado latino americano, africano e do oriente médio, a partir de 2013 (55).

Figura 48 - Produção anual de veículos nos mercados da Ásia e Pacífico (dados históricos de 1998 a 2008 e projetados de 2009 a 2014), em milhões de unidades (55)

Figura 49 - Produção anual de veículos nos mercados latino-americano, africano e do Oriente Médio (dados históricos de 1998 a 2008 e projetados de 2009 a 2014), em milhões de unidades (55)

Devido a este cenário, as grandes e tradicionais montadoras mundiais (americanas, européias e japonesas) têm intensificado suas atuações nestes mercados, buscando retornos maiores, mais duradouros e com baixo custo de produção (62), justificando assim ações focadas e otimizadas, como por exemplo, o desenvolvimento de arquiteturas veiculares para mercados emergentes.

2.3.2.1 Perfil de consumo e características de produto em mercados emergentes

Apesar de seu enorme potencial como mercado consumidor, os mercados emergentes (América Latina, Ásia, África e Oriente-Médio) possuem características bastante particulares quanto ao perfil de consumo.

Ao contrário dos mercados desenvolvidos, estes mercados possuem uma grande sensibilidade ao preço, devido ao fato de o poder aquisitivo de seus consumidores ser proporcionalmente e quantitativamente menor. Isto se reflete não só no conteúdo de funções disponíveis nos veículos como também no tipo de motorização, acabamento e preferências de carroceria, isto é, tipo, tamanho, número de portas, proporções de porta-malas, entre outros – daí a grande penetração de veículos pequenos (segmentos A e B) nestes mercados (Figura 50 (63)).

Figura 50 - Potencial de mercado para veículos 'low cost' nos países emergentes (63)

Devido a estes fatores, surgem nestes mercados dois tipos marcantes de veículos: os de baixo custo e os “obsoletos”.

2.3.2.1.1 Veículos de baixo custo (*low-cost*)

Conforme Bursa (64), carros de baixo custo são os agentes de crescimento no mercado mundial de veículos. A Bosch alemã estima que veículos de até 7.000 Euros possam ocupar até 13% do mercado mundial de veículos até 2010, ou seja, um volume de 10 milhões de veículos aproximadamente. Isto se deve ao fato de os

mercados emergentes estarem em crescimento. Logo, desenvolver produtos que atendam às necessidades particulares destes mercados tornou-se imperativo para as montadoras.

Para estes mercados, isto significa desenvolver produtos mais baratos para o consumidor e para a montadora na tentativa de maximizar os ganhos, uma vez que as margens de lucro destes mercados são inevitavelmente mais baixas.

O conceito de veículo “*low cost*” é amplo. Não existe um segmento específico de mercado chamado de “*low cost*”, e um veículo “*low cost*” não é necessariamente um modelo de entrada², nem é necessariamente um ‘carro mundial’, comum para todos os mercados do mundo, pois, na realidade, muitos dos veículos “*low cost*” são estritamente limitados ao mercado ao qual foram desenvolvidos.

Por esta razão, os veículos de baixo custo possuem diferentes abordagens e conteúdos, dependendo do mercado em que se encontram, fatores como geografia e clima, infra-estrutura, gosto, tradição, políticas governamentais e nacionalismo devem ser levados em conta, uma vez que também direcionam a decisão de compra do consumidor.

Isto explica a dificuldade de se criar veículos globais deste tipo, apesar de existirem algumas similaridades entre mercados, como por exemplo, entre América Latina e Índia e entre Rússia e China.

A filosofia de baixo custo pode ser aplicada em uma larga gama de veículos, de tipos e tamanhos diferentes – com diferentes faixas de preço no mercado. Por exemplo, o preço de venda de um Fiat Linea (segmento B de mercado) é aproximadamente cinco vezes maior que um Tata Nano (segmento A de mercado), apesar de os dois projetos serem considerados de baixo custo.

Desta forma, a filosofia de baixo custo deve ser definida como a utilização de moderna tecnologia em conjunto com o uso extensivo de plataformas e componentes já existentes (reuso) e desenvolvidos para serem rentáveis em larga escala para estes mercados. O preço final destes veículos deve ser competitivo em relação aos veículos obsoletos, tendo ainda uma estrutura de custo baixa o suficiente para proporcionar uma margem de lucro acima da média dos veículos

² O veículo mais simples e barato do portfólio de produtos de uma montadora

obsoletos, justificando o investimento de um novo veículo, para os fabricantes de peças e montadoras.

Foi com base nesta filosofia que o veículo “*ultra low cost*” Tata Nano foi concebido. Feito especialmente para o mercado indiano, cujo intuito é tomar parte do mercado hoje ocupado por motos e motonetas, o Tata Nano foi lançado em 2009 (Figura 51 (65)), custando o equivalente a 2.500 dólares, posicionando estrategicamente entre o preço médio das motos e motonetas e preço do mais barato veículo convencional do mercado e com produção inicial estimada entre 250 mil e 350 mil veículos por ano (65; 64).

Figura 51 - Tata Nano, veículo indiano de baixo custo (65)

2.3.2.1.2 Veículos obsoletos

Veículos obsoletos são modelos desenvolvidos há 20, 30 ou até 40 anos atrás e que continuam em produção. Existem diversos exemplos para diversos mercados, como VW Fusca no México, Maruti 800s na Índia, Lada Zhigulis na Rússia, Renault 12s na Romênia e o Fiat Uno (Mille) no Brasil.

O que explica a existência destes veículos por tanto tempo é um único fator, classificado como custo de produção. Devido ao tempo em produção, todos os custos de desenvolvimento e produção já foram amortizados, tornando seus preços para o consumidor muito atrativos, ainda trazendo lucros aos fabricantes. Isto torna muito difícil o desafio de um veículo novo de baixo custo ter preço ainda melhor que o deles (64).

Porém os dias destes modelos estão contados: leis de emissões e de segurança mais rigorosas, assim como a redução gradativa do mercado, em breve

impossibilitarão a continuidade da produção destes veículos, sendo substituídos pelos modelos de baixo custo.

2.3.2.2 Fatores determinantes na seleção da arquitetura em mercados emergentes

A demanda de mercado por soluções mais baratas ou com maior número de funções determina o grau de distribuição da arquitetura elétrica adotada.

Arquiteturas desenvolvidas para veículos de luxo ou para mercados desenvolvidos, com grande quantidade de opcionais, não são aplicáveis a veículos de baixo custo e baixo conteúdo, e vice-versa. A utilização de peças comuns globais, com o intuito de atingir a economia de escala, pode ainda assim penalizar grupos de veículos, dependendo da estratégia com que foram concebidas (41). Portanto, abordagens globais pode não ser a melhor solução para problemas regionais.

No caso dos mercados emergentes, onde o requisito principal é o baixo custo, as arquiteturas tendem a ser menos distribuídas.

Nos sistemas de carroceria, por exemplo, as funções relacionadas usualmente são concentradas em um único módulo, como por exemplo, a BCM (*Body Controle Module*), normalmente localizado no console ou abaixo dos bancos dianteiros (50). Estas características podem ser observadas através da análise dos principais veículos encontrados em um mercado emergente, como o brasileiro.

Conforme Oliveira (25), os principais modelos encontrados no mercado brasileiro são exemplos de arquitetura de baixo custo, mostrados a seguir:

A arquitetura do GM Celta (Figura 52 (25) e Figura 53 (25)) é formada por quatro módulos eletrônicos: painel de instrumentos (IC), controle de motor (PCM ou ECM), módulo de conforto, vidros, travas e alarme e acesso remoto (RKE) e sistema de imobilização (IMMO), o rádio só é disponibilizado como acessório nas concessionárias. A rede de comunicação existente (ISO9141) atende apenas propósitos de diagnóstico, não sendo utilizada para comunicação entre os módulos.

Figura 52 - GM Celta: Topologia de rede (25)

Figura 53 - GM Celta: Topologia de distribuição elétrica (25)

A arquitetura do Fiat Palio (Figura 54 (25) e Figura 55 (25)) é formada por seis módulos eletrônicos: painel de instrumentos (IC), controle de motor (PCM), módulo de conforto e segurança, vidros, travas e alarme e acesso remoto (RKE), sistema de imobilização (IMMO) e controle do airbag (RCM) e Rádio, possuindo cinco principais chicotes: frontal, de motor, de console, de carroceria e de portas. A PCM e o IC são interconectados por uma rede CAN de 500 kbit/s, Os módulos RCM e RKE são conectados por uma rede de baixo custo de 10.4 kbit/s.

Figura 54 - Fiat Palio: Topologia de rede (25)

Figura 56 - VW Gol: Topologia de rede (12)

Figura 57 - VW Gol: Topologia de distribuição elétrica (12)

Por não ser um veículo de “entrada”, o Volkswagen Fox (Figura 59 (12) e Figura 58 (12)) apresenta um pouco mais de conteúdo. Sua arquitetura é também formada por seis módulos eletrônicos: painel de instrumentos (IC), controle de motor (PCM), módulo de conforto e segurança, vidros, travas e alarme e acesso remoto (RKE), sistema de imobilização (IMMO) e sistema de ABS (ABS) e rádio. Os módulos são conectados por uma rede de baixo custo de 10.4 kbit/s somente utilizada para diagnóstico.

Figura 58 - VW Fox: Topologia de distribuição elétrica (12)

Figura 59 - VW Fox: Topologia de rede (12)

Em todos os casos, as arquiteturas são bastante semelhantes, onde o sistema de distribuição de energia é centralizado em apenas uma caixa de fusíveis e relés mecânicos, isto é, sem eletrônica de controle. Caixas inteligentes, com semicondutores de potência, por exemplo, não são empregadas nestes veículos, devido à redução de custos (12). As redes seriais são utilizadas basicamente para fins de diagnóstico, de baixa velocidade e baixo nível de integração, interligando apenas poucos módulos, o que indica também grande utilização de comunicação discreta (ponto-a-ponto) e sistemas independentes (*stand-alone*), o que se contrapõe aos modelos comumente encontrados em mercados desenvolvidos e suas tendências.

Quando analisado o volume das variações destes veículos no mercado brasileiro, nota-se que 50% deles saem de fábrica sem nenhum opcional, isto é, a arquitetura se resume a ECM e painel de instrumentos, 40% deles possuem módulo de conforto e desembaçador do vidro traseiro e apenas 10% possuem sistemas de segurança como ABS e *airbags* (25), outra grande diferença em relação aos mercados

desenvolvidos, onde estes sistemas estão presentes na totalidade dos veículos, mesmo de entrada.

Fatores como simplicidade, baixo custo, desempenho (economia de combustível) e conteúdo enxuto, não são características marcantes somente do mercado brasileiro, com seus veículos populares de motor de 1.0 litro. Exemplo disso é o veículo indiano de baixíssimo custo Tata Nano. Este veículo conta com motor de 0.6 litro e dois cilindros, sem vidros, travas ou espelhos elétricos e sem direção hidráulica, ar-condicionado, limpa-vidro traseiro, tomada elétrica, acendedor de cigarros, rádio ou qualquer outro sistema de conforto ou segurança elétrico em sua versão básica (somente a partida elétrica).

Isto demonstra que mercados desenvolvidos e emergentes possuem características bastante diferentes, salvo nichos de mercado, com estratégias de produtos igualmente distintas. Evidentemente, os critérios de seleção de arquiteturas utilizados não deverão ser exatamente os mesmos para mercados emergentes e desenvolvidos.

Vem daí a necessidade de se estabelecer critérios de escolha de arquiteturas elétricas específicas para estes mercados.

3 METODOLOGIA

Para a definição de critérios de seleção de arquiteturas e sua aplicação, este trabalho baseou-se na própria pesquisa bibliográfica, na análise documental obtida em montadoras e fornecedores e em entrevistas não estruturadas, com o objetivo de coletar parte do vasto e precioso conhecimento tácito da indústria automotiva aplicado na concepção de novos projetos e na adoção de soluções inovadoras.

Uma vez definidos os critérios, o método da agregação aditiva foi empregado para correlacionar e ponderar simultaneamente os critérios, atribuindo por fim uma nota de desempenho global para a solução de arquitetura estudada. Através desta nota foi feita a escolha da melhor solução de arquitetura para cada caso estudado.

3.1 MÉTODO DA AGREGAÇÃO ADITIVA

A escolha do método da agregação aditiva se deu por sua facilidade de cálculo, possibilidade de uso de um número ilimitado de variáveis (ou critérios), além do fato de este método já ter sido empregado em outros trabalhos da mesma área de aplicação deste (66).

O método de agregação aditiva é um método ponderado de tomada de decisão. Nele, para cada variável, ou critério, é aplicado um índice de mérito qualitativo. Este método, ao contrário dos métodos de eliminação sequencial das alternativas, permite a avaliação de todas as alternativas simultaneamente, através da somatória do valor que cada índice de mérito representa em cada alternativa (67). O valor obtido nesta somatória é chamado de desempenho global da alternativa, cuja fórmula (67) é apresentada a seguir:

$$V(a) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i(a)$$

Onde:

$V(a)$: Desempenho global da alternativa a;

$v_1(a), v_2(a), \dots, v_i(a)$: Desempenho local da alternativa a nos índices de mérito 1 ... i;

$w_1, w_2, \dots, w_i$: Taxa de substituição dos índices de mérito 1, 2, ..., i;

n : número de índices de mérito do modelo.

A fórmula de agregação transforma uma atratividade local, medida nos índices de mérito, em uma atratividade global, somando o desempenho de uma alternativa, nos diversos índices de mérito, em um desempenho único (67).

Portanto, esta fórmula é utilizada principalmente em modelos multi-critério, onde se avaliam diversas alternativas perante vários índices de mérito, pois raramente ocorre de uma alternativa ser melhor que as demais em todos os critérios ou índices de mérito do modelo (66). Assim, as alternativas podem ser diretamente comparadas mediante a classificação de seus desempenhos globais.

3.1.1 Função de valor

Cada índice de mérito, no caso, cada critério, possui associado a si uma função de valor. Esta função possibilitará a mensuração do desempenho, ou nível de impacto, de cada alternativa em relação a este índice. Os valores assumidos por cada índice são definidos através sub-critérios chamados descritores (67). Estes descritores podem ser quantitativos ou qualitativos, podendo assumir resultados como bom, satisfatório, neutro ou não satisfatório.

Para atribuição dos valores das funções de valor, foi utilizado o método da pontuação direta, devido a sua simplicidade por não necessitar de transformações matemáticas que possam interferir nos resultados (67). Ele propõe a associação de valores zero e um aos níveis de impacto neutro e bom de cada índice de mérito respectivamente. Os demais níveis são definidos através da linearização simples em relação aos dois valores já definidos. A definição dos descritores para cada índice de mérito permite a avaliação local do desempenho de cada alternativa.

Neste trabalho, cada função de valor ($v_i(a)$) corresponderá a um critério de escolha de arquitetura elétrica.

3.1.2 Taxa de substituição

Para a análise global de cada alternativa (isto é, levando-se em consideração todos os índices simultaneamente), deve-se definir um coeficiente de importância (ou peso), também conhecido como taxa de substituição (w_i) (67).

No caso de um modelo multi-critério, a taxa de substituição expressa a perda de desempenho que uma ação potencial deve sofrer em um critério para compensar o ganho de desempenho em outro. Essa taxa é necessária, pois, na análise de

alternativas de um modelo multi-critério, dificilmente irá ocorrer a situação onde uma delas é melhor que as demais em todos os critérios (67).

Dentre os métodos para determinação destas taxas, foi escolhido o *swing weights*, devido a sua simplicidade e rapidez (67).

Sua definição se dá a partir de uma ação (ou alternativa) fictícia, com desempenho neutro em todos os índices de mérito. Escolhe-se, então, um dos índices desta alternativa onde o desempenho da ação fictícia melhora para o nível de impacto Bom. A este salto (*swing*) escolhido, atribuem-se 100 pontos.

O mesmo questionamento é feito com os demais critérios até que todos tenham suas notas definidas, sendo que as magnitudes de todos os saltos devem ser medidas em relação ao primeiro salto.

Por fim, os valores de todos os saltos devem ser re-escalonados de maneira que apresentem valores entre 0 e 1, fornecendo assim as taxas de substituição.

Neste trabalho, as taxas de substituição (ou pesos) correspondem aos coeficientes w_i .

3.1.3 Avaliação das alternativas

Para este trabalho, cada alternativa ($V(a)$) será uma proposta de arquitetura elétrica.

As alternativas estudadas podem ser diretamente comparadas através de seus respectivos desempenhos globais. A alternativa que apresentar o maior desempenho global poderá ser considerada a alternativa mais atrativa.

Complementando a análise direta dos valores globais, a análise de custo/benefício possibilita avaliar a relação entre os critérios que representam custos e aqueles que representam benefícios em cada alternativa existente. Conforme Ensslin (67), esta análise auxilia na comparação entre alternativas, permitindo que se descartem aquelas alternativas que são dominadas por outras em termos destes dois critérios. Assim, uma alternativa é dominada por outras quando esta apresenta um mesmo benefício que a outra e um custo maior, ou quando esta apresenta um mesmo custo que a outra, porém com um benefício menor.

Esta análise é feita separando os índices de mérito em dois grupos: um para os que representam custos e outro para os que representam algum tipo de benefício.

Neste caso, novos valores de desempenho local para estes dois grupos devem ser obtidos através da divisão entre a somatória do produto entre os desempenhos locais e taxas de substituição originais e a somatória das taxas de substituição dos índices de mérito de cada agrupamento, através da fórmula (67):

$$v_{cb}(a) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i(a)}{\sum_{i=1}^n w_{i_{cb}}}$$

O resultado da análise de custo versus benefício é obtido traçando-se um gráfico onde seus eixos representam o desempenho local das alternativas em termos dos custos, e o desempenho local das alternativas em termos dos benefícios. Pelo gráfico fica visível a linha formada pelos máximos valores encontrados de custo e benefício. Esta linha, chamada fronteira eficiente, limita a área onde se encontram as demais alternativas dominadas, isto é, aquelas que apresentam pior custo e benefício quando comparadas àquelas situadas na fronteira eficiente.

3.1.4 Análise de sensibilidade

A análise da sensibilidade examina a robustez das respostas do modelo frente a alterações nos parâmetros do mesmo, isto é, permite que se saiba se uma pequena alteração, seja numa taxa de compensação de um critério ou no desempenho local de uma alternativa, pode causar uma grande variação na avaliação das alternativas (67). Ela é necessária devido às imprecisões acumuladas durante a aplicação do método de agregação aditiva, onde as taxas de substituição podem ter grande influência no resultado final (66).

Desta forma, foi aqui avaliada, por meio numérico, a sensibilidade do modelo adotado quando submetido a variações nas taxas de substituição na ordem de $\pm 10\%$, variando-se este parâmetro de determinado índice de mérito, e recalculando-se as demais taxas de substituição, de modo a manter as proporções entre elas, assim como sua somatória unitária.

As taxas de substituição recalculadas, que representam as “imprecisões” do modelo em agregar, de forma compensatória, desempenhos locais em desempenhos globais, podem ser obtidas utilizando-se a seguinte fórmula (67):

$$w'_i = w_i \cdot \frac{1 - w'_s}{1 - w_s}$$

Sendo:

w'_i : Taxa de substituição recalculada para o índice de mérito i ;

w_i : Taxa de substituição original do índice de mérito i ;

w'_s : Taxa de substituição definida para o índice de mérito selecionado

w_s : Taxa de substituição original do índice de mérito selecionado.

Conforme Ensslin (67), o modelo em questão poderá ser considerado robusto caso o resultado final não se modifique significativamente com a variação das taxas de substituição, não interferindo na ordem dos resultados obtidos (ou pelo menos dos primeiros colocados da lista).

3.2 ESTUDO DE CASO

O método de pesquisa a ser utilizado neste trabalho é o de estudo de caso. A proposta aqui assumida é de definir como deve ser escolhida uma arquitetura elétrica veicular que não só atenda tecnicamente e economicamente os requisitos atuais de mercado e legislação como também a evolução destes conceitos ao longo do ciclo de vida do produto com um impacto mínimo em custo e desenvolvimento.

Estas premissas vão ao encontro da proposta do Estudo de Caso, definido por Yin apud Donaire (68) como sendo um estudo empírico que investiga um fenômeno atual dentro de seu contexto real, no qual as fronteiras entre o fenômeno e contexto não são claramente definidas e devem ser usadas várias fontes de evidência. Conforme Donaire (68), sua utilização justifica-se quando as questões propostas são do tipo explicativo ('como' e 'porque'), sendo feitas sobre uma série de eventos atuais sobre os quais o pesquisador não tem controle. Este conceito também é defendido por Patton apud Donaire (68), que atribui as seguintes aplicações para este tipo de estudo, dentre outras:

- Explicar as causas de determinado fenômeno por meio de uma intervenção em uma situação de realidade muito complexa para ser identificada através de um experimento ou levantamento;
- Descrever a situação real do contexto no qual está sendo feita a intervenção.

Neste trabalho o estudo de caso servirá para a aplicação dos critérios elencados e como validação dos pesos e descritores utilizados.

O estudo de caso possibilitará a análise entre propostas para um mesmo veículo e propiciará a discussão sobre a alternativa efetivamente escolhida e o grau de relevância dos critérios selecionados.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DAS ARQUITETURAS ELÉTRICAS E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO SELECIONADOS

Tendo em vista a metodologia sugerida e a revisão teórica apresentada neste trabalho, segue a definição dos critérios para seleção da arquitetura elétrica em mercados emergentes, assim como sua aplicação em exemplos reais de estudo de caso.

4.1 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DA ARQUITETURA EM MERCADOS EMERGENTES

A definição dos critérios de seleção, ou índices de mérito, foi baseada principalmente na literatura existente sobre critérios adotados mundialmente em mercados desenvolvidos, já mostrados neste trabalho, e no conhecimento tácito obtido junto a com membros da indústria automobilística – engenheiros, coordenadores e gerentes de engenharia brasileiros de um centro de desenvolvimento de projetos para todos os mercados mundiais de uma grande montadora, participantes ativos de comunidades mundiais de engenharia nesta empresa. São conceitos ativamente utilizados, porém, como são frutos do conhecimento e dos processos intrínsecos de cada empresa, poderão apresentar diferenças quando aplicados ou definidos por outras montadoras e fornecedores.

A definição destes índices levou em consideração algumas propriedades fundamentais de escolha de índices (67), como:

- Essencial: O índice deve considerar aspectos que sejam de fundamental importância para a avaliação;
- Controlável: O índice deve representar um aspecto que possa ser influenciado apenas pelas alternativas em questão;
- Mensurável: O índice deve permitir, com a menor ambigüidade possível, a especificação do desempenho das alternativas;
- Operacional: O índice possibilita a coleta de informações pertinentes dentro do tempo disponível e com esforço viável;

- Não-redundante: O conjunto de índices adotado deve levar em consideração um determinado aspecto apenas uma única vez;
- Conciso: O número de aspectos considerado pelo conjunto de índices deve ser o mínimo necessário para modelar adequadamente a avaliação da alternativa;
- Compreensível: O índice deve ter seu significado claro.

Desta forma, os critérios encontrados são mostrados na tabela a seguir. Os critérios desprezados são comentados no item 4.1.1.

Tabela 6 - Critérios de seleção de arquiteturas elétricas para mercados emergentes

Área de Interesse	Índice de Mérito (Critério)
Mercado	<ul style="list-style-type: none"> • Custo • Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo
Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Confiabilidade, Robustez - MTBF
Estratégias de Mercado	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade • Tempo de lançamento de produto (time to market)
Serviços de pós-venda	<ul style="list-style-type: none"> • Mão-de-obra de manutenção • Tempo de detecção de falhas e de manutenção • Custo de manutenção • Custo de reposição
Estratégias de Engenharia de Produto	<ul style="list-style-type: none"> • Reuso • Massa • Capacidade do hardware • Intercambiabilidade • Influência da mudança de requisitos
Manufatura, Logística e Estoque	<ul style="list-style-type: none"> • Proliferação de peças • Custo de mão-de-obra de manufatura • Tempo de manufatura e montagem • Infra-estrutura de manufatura

Os critérios determinados serão agora apresentados em seus detalhes:

1. **Custo**: Refere-se ao custo total dos componentes elétricos e eletrônicos que compõe a arquitetura elétrica em avaliação, considerando-se todos os requisitos para seu correto funcionamento. Este índice de mérito permite diferenciar as diversas arquiteturas em avaliação perante o requisito de custo, comparando-as com o custo total da arquitetura de referência ou do veículo-referência adotado (*benchmark*), sendo mais bem avaliada a arquitetura que apresentar o menor custo total em relação à referência.
2. **Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo**: Refere-se às diferenças de custo entre as configurações possíveis quando adotada uma dada arquitetura. Isto considera a variação de custo entre a configuração básica, com menos funções disponíveis, e a configuração topo-de-linha, completa, com todas as funções disponíveis, para a arquitetura estudada. Esta relação mostra qual o impacto da solução adotada no custo de cada produto. A arquitetura que apresentar a menor diferença de custo será a mais bem avaliada.
3. **Confiabilidade, Robustez – MTBF**: Refere-se à capacidade da arquitetura em questão em executar a função para a qual foi projetada, quando solicitada, por um período de tempo pré-determinado, sob condições ambientais específicas para uma determinada aplicação. A confiabilidade é verificada através do MTBF (*mean time between failures*) oferecido pela arquitetura estudada e será comparada ao MTBF da arquitetura de referência ou do veículo-referência adotado (*benchmark*) ou um valor pré-definido pela montadora.
4. **Flexibilidade**: Este índice mostra a capacidade da versão básica da arquitetura proposta de atender as necessidades dos pacotes de opções e opcionais, definidas para o mercado, do ponto de vista técnico. Isto é, mostra a capacidade desta arquitetura de atender as necessidades dos pacotes de opções sem apresentar grandes mudanças em sua estrutura e sem grandes adaptações técnicas em relação a sua versão básica. Quanto menor for sua variação, ou seja, quanto maior for a flexibilidade de sua configuração básica e maior será a nota atribuída.
5. **Tempo de lançamento de produto (*time to market*)**: Tempo entre o projeto e sua disponibilidade no mercado. Num mercado altamente competitivo como o

automotivo, o tempo para lançamento de um novo produto pode ser decisivo na conquista do consumidor, seja por se antecipar às concorrentes, seja por conseguir responder, rapidamente, às necessidades do mercado. Este índice, portanto, mensura esta vantagem competitiva. Quanto menor for o tempo de lançamento do novo veículo com a arquitetura em questão, melhor será a nota atribuída.

6. **Mão-de-obra de manutenção**: Refere-se à necessidade de utilização de mão-de-obra especializada, ou de treinamento específico para a equipe de manutenção existente ou a de contratação de mão-de-obra exclusiva, para a execução de reparos no sistema elétrico de um veículo equipado com a arquitetura em avaliação. A utilização de mão-de-obra especializada, ou a especialização da mão-de-obra existente, também exerce influência direta no custo do serviço para o cliente final. Este índice de mérito permite diferenciar as arquiteturas elétricas que apresentam menor custo para a execução de reparos e, portanto, requerem menos uso de mão-de-obra especializada. Quanto menor for a necessidade de especialização da mão-de-obra, quando comparada à mão-de-obra já disponível na rede de concessionárias da montadora, maior será a nota.
7. **Tempo de detecção de falhas e de manutenção**: Refere-se à facilidade e rapidez para detecção de falhas e manutenção em um veículo equipado com a arquitetura em estudo. O tempo de manutenção, além de impactar no custo variável de manutenção, impacta também na percepção e satisfação do cliente quanto ao serviço. Este índice de mérito procura destacar, dentre as diversas arquiteturas elétricas, aquelas que requerem o menor tempo de mão-de-obra para identificação de uma falha elétrica e seu reparo, isto é, que possuem maior quantidade de componentes auto-diaagnosticáveis em cada um de seus sistemas elétricos. Quanto maior for a capacidade de auto-diagnóstico, maior será a nota neste índice.
8. **Custo de manutenção**: Refere-se à necessidade de utilização de novos equipamentos dedicados para a manutenção de veículos cujo sistema elétrico é disposto conforme a arquitetura elétrica em avaliação. Este índice de mérito permitirá diferenciar, dentre as diversas arquiteturas elétricas em avaliação,

aquelas que requerem a utilização da menor quantidade de equipamentos e dispositivos específicos, não disponíveis atualmente na rede de concessionárias, para a manutenção em um veículo com a arquitetura proposta. Quanto menor for a necessidade, melhor será a nota atribuída.

9. **Custo de reposição**: Refere-se ao custo das peças de reposição para a realização de serviços em concessionárias em um veículo cujo sistema elétrico é disposto conforme a arquitetura elétrica em avaliação. Em veículos de baixo volume de produção, a utilização de componentes e módulos exclusivos para uma determinada aplicação pode ser onerosa, devido ao seu custo unitário elevado por não atingir níveis de produção que garantam uma barganha comercial atraente, como ocorrem com componentes comuns ou de reuso. Outro agravante é a utilização de arquiteturas centralizadas, onde poucos módulos realizam um número elevado de funções: devido à integração de funções, uma pequena falha em um sistema pode redundar na substituição do componente ou módulo central, de custo elevado, o que causa um impacto negativo na percepção do cliente final (relação custo/benefício) quando este recebe o orçamento da manutenção realizada. Em vista deste panorama, este índice leva em consideração a quantidade de componentes exclusivos em relação à quantidade total de componentes do sistema elétrico da arquitetura adotada. Quanto menor for o número de peças exclusivas empregadas, melhor será a nota atribuída.
10. **Reuso**: Refere-se à possibilidade de utilização de componentes e módulos elétricos já desenvolvidos para o veículo-referência, no sistema elétrico de um veículo equipado com a arquitetura elétrica em avaliação. Este índice de mérito tem como objetivo diferenciar as arquiteturas elétricas que consideram a possibilidade de utilização de componentes já em uso no veículo-referência. Quanto maior o número, maior será a nota neste critério.
11. **Massa**: Refere-se à massa adicional total relacionada aos equipamentos elétricos necessários para o correto funcionamento do sistema elétrico de um veículo equipado com a arquitetura em avaliação, quando comparada a arquitetura de referência ou o veículo-referência adotado (*benchmark*) ou ainda uma meta estabelecida pela montadora. A massa do veículo, bem como a de

seu sistema elétrico, tem sido sistematicamente examinada pelas principais montadoras, com o objetivo de melhorar o consumo de combustível (66). Desta forma, este índice de mérito permitirá diferenciar as arquiteturas elétricas mediante a necessidade de adição ou redução de massa ao veículo, sendo mais bem avaliadas aquelas que apresentarem os menores valores para este parâmetro.

12. **Capacidade do hardware:** Trata da capacidade de potência e processamento dos componentes e módulos da arquitetura proposta. Um sistema trabalhando abaixo de sua capacidade nominal, tanto na capacidade física como em processamento, é desejável para que o sistema tenha flexibilidade suficiente para se adaptar às futuras necessidades de mercado, como o aumento de funções requeridas ou adequações a novas leis ambientais ou necessidades de mercado. Por outro lado, operar com uma grande capacidade ociosa significa em subutilizar o sistema, causando um custo desnecessário ao produto final, fato melhor observado nos veículos equipados com a versão básica da arquitetura utilizada. Portanto, a capacidade ociosa deve girar em torno de um número estabelecido pela montadora, em percentual da capacidade máxima, e quanto menor for sua variação em relação a este número, melhor será a pontuação neste índice.
13. **Intercambiabilidade:** Refere-se à possibilidade de utilização de componentes e módulos elétricos já desenvolvidos para outras plataformas e arquiteturas veiculares, no sistema elétrico de um veículo equipado com a arquitetura elétrica em avaliação. Esta tem sido uma busca constante das montadoras no objetivo de se manterem competitivas, pois, ao desenvolverem componentes e processos com maior amplitude de aplicação, ou seja, maior volume de componentes comuns, as montadoras conseguem uma economia de escala maior, além de reduzirem custos de produção, reutilizando as mesmas linhas de montagem e os processos já existentes para uma maior escala de produtos (2). Este índice de mérito tem como objetivo diferenciar as arquiteturas elétricas que consideram a possibilidade de utilização de componentes e módulos já desenvolvidos e validados pela montadora e/ou por seus fornecedores na arquitetura proposta. Quanto maior o número, maior será a nota neste critério.

14. **Influência da mudança de requisitos**: Este índice trata da capacidade da arquitetura proposta em modificar seu conteúdo de acordo com as necessidades e modismos do mercado ou necessidades legais. Este tipo de comportamento torna-se crítico quando são utilizadas tecnologias mais antigas ou obsoletas, que não mais se ajustam às necessidades atuais e futuras de mercado ou apresentam-se no limiar de sua funcionalidade, não somente por sua capacidade de expansão, mas principalmente por suas limitações técnicas, intrínsecas à sua própria concepção. Qualquer mudança, nestes casos, acarretaria a mudança quase que completa da arquitetura. Desta forma, quanto mais recente for a tecnologia empregada pela arquitetura em estudo, e quanto mais compatível for em relação às inovações e modificações esperadas pela montadora, melhor será sua nota neste índice.
15. **Proliferação de peças**: Mostra o grau de redução de estoque pela não proliferação de peças, como por exemplo, a comunização de chicotes, da arquitetura em estudo. Dependendo das estratégias de utilização de componentes, de arquitetura básica e de agrupamento de funções adotadas de acordo com penetração de mercado e volume de produção final, o número de componentes específicos para cada variação do produto pode reduzir-se drasticamente. Este tipo de redução é percebido principalmente na proliferação de chicotes e variações do conteúdo de módulos, o que reflete também na redução do custo de estoque por parte de montadoras, fornecedores e concessionárias. Quanto menor a proliferação de componentes, maior será a nota neste item.
16. **Custo de mão-de-obra de manufatura**: Refere-se à necessidade de utilização de mão-de-obra especializada, ou de treinamento específico para a equipe de manufatura existente, para a execução da manufatura e montagem de um veículo equipado com a arquitetura em avaliação. A utilização de mão-de-obra especializada também exerce influência direta no custo do produto para o cliente final. Este índice de mérito permite diferenciar as arquiteturas elétricas que apresentam menor custo para sua montagem e, portanto, não requerem, ou requerem pouco uso de mão-de-obra especializada. Quanto menor for a necessidade de especialização da mão-de-obra, quando comparada à mão-de-obra já disponível nas linhas de produção da montadora, maior será a nota.

17. **Tempo de manufatura e montagem**: Refere-se ao período requerido para a fabricação completa de um veículo (desde o processo de funilaria, até os ajustes finais como, por exemplo, os testes dinâmicos) utilizando a arquitetura elétrica em questão. O tempo padrão é uma variável importante para a indústria automobilística, pois interfere diretamente no rendimento de produção do parque industrial e, portanto, na rentabilidade da operação como um todo. Este índice de mérito tem como objetivo distinguir a arquitetura elétrica que causa o menor impacto no tempo padrão requerido para a fabricação de um veículo, quando comparado à produção do veículo-referência ou a um valor de tempo pré-definido pela montadora. Desta forma, serão mais bem avaliadas as arquiteturas elétricas que exijam valores reduzidos para este parâmetro.
18. **Infra-estrutura de manufatura**: Refere-se à necessidade de recursos fabris adicionais para a fabricação de um veículo cujo sistema elétrico é representado pela arquitetura elétrica em avaliação. Este índice de mérito propõe a consideração de fatores como o aumento de estações de trabalho e aquisições de equipamentos e dispositivos específicos necessários para a fabricação de veículos com a arquitetura elétrica em questão. Para este índice, serão mais bem avaliadas as arquiteturas que requererem a menor quantidade de recursos adicionais.

4.1.1 Observações sobre os critérios para mercados emergentes e mercados desenvolvidos

Como pode ser observado, os critérios utilizados em mercados desenvolvidos não fazem parte desta lista na sua totalidade, apesar de terem sido utilizados como base na obtenção dos critérios para seleção de arquiteturas elétricas em mercados emergentes. Muitos critérios não foram considerados ou tiveram suas definições adaptadas para atender as necessidades dos mercados emergentes.

Critérios relacionados a mercado, qualidade e serviços de pós-venda são abordados em ambos os mercados. O que difere é o peso atribuído a estes critérios. Exemplo disso é o critério “custo” e “custo de manutenção”, que tem importância maior nos mercados emergentes devido ao fato da maior sensibilidade ao preço por parte de seus consumidores.

Algumas exceções são no que diz respeito à homologação veicular, cujas diferenças entre os mercados emergentes não são tão grandes quando comparado às diferenças encontradas entre os mercados americano, europeu e japonês, e à imagem de marca, quando relacionado a subsistemas e componentes, cujo peso dado é muito menor nos mercados emergentes do que nos mercados desenvolvidos.

Nas estratégias de engenharia, boa parte dos critérios é também compartilhada. Massa, capacidade do sistema, compartilhamento de componentes, intercambiabilidade (estratégias de modularidade) e influências na mudança de requisitos são metas e restrições buscadas ou melhoradas em qualquer projeto.

A grande diferença reside na estratégia de reuso de peças de projetos anteriores, muito mais observada nos mercados emergentes, devido à própria dinâmica evolutiva mais lenta destes mercados, como novas tecnologias demoram mais a serem introduzidas e incorporadas por estes mercados, velhas soluções acabam sendo adotadas por mais tempo, facilitando o reuso de peças de projetos anteriores.

Devido ao baixo conteúdo de funções observadas em veículos de mercados emergentes, e conseqüente simplicidade dos projetos, alguns critérios utilizados nos mercados desenvolvidos perdem relevância quando analisados pela perspectiva dos mercados emergentes, ainda que estes critérios possam ser levados em conta nos projetos como sendo boas práticas de engenharia, mas não como critério de escolha, tais como a utilização de soluções de mercado ou proprietárias, normas industriais, a classificação funcional, a utilização de sistemas distribuídos ou centralizados e o isolamento de funções.

Por fim, os critérios relacionados à manufatura, logística e estoque também são abordados, tanto para mercados emergentes como para mercados desenvolvidos.

A diferença entre a abordagem para mercados emergentes e a abordagem para mercados desenvolvidos se dá em relação ao peso atribuído e ao enfoque dado, como no caso do custo de mão-de-obra de manufatura e tempo de montagem, devidos a baixa automação e baixa qualificação da mão-de-obra nos países emergentes.

4.1.2 Definição das funções de valor e descritores

A seguir serão apresentados os descritores e funções de valor definidos para a avaliação das arquiteturas elétricas para mercados emergentes. Estes descritores e funções foram obtidos com base na experiência profissional de membros da indústria automobilística, sendo estes engenheiros, coordenadores e gerentes de engenharia brasileiros de um centro de desenvolvimento de projetos para todos os mercados mundiais de uma grande montadora, participantes ativos de comunidades mundiais de engenharia nesta empresa, sendo atribuídos quatro ou cinco descritores para cada índice de mérito, cujos valores seguem o método descrito na sessão 3.1.

Tabela 7 - Função valor para o índice de mérito Custo

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Custo inferior à arquitetura elétrica de referência	1,33
N ₄	Custo equivalente à arquitetura elétrica de referência	1,00
N ₃	Custo superior até 50% da arquitetura elétrica de referência	0,67
N ₂	Custo superior entre 50% entre 100% da arquitetura elétrica de referência	0,33
N ₁	Custo superior a 100% da arquitetura elétrica de referência	0,00

Tabela 8 - Função valor para o índice de mérito Classificação do Veículo quanto ao Espectro de Conteúdo

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₄	Variação de custo absoluto de 0% entre a arquitetura versão básica e a completa (top)	1,00
N ₃	Variação de custo absoluto de até 20% entre a arquitetura versão básica e a completa (top)	0,67
N ₂	Variação de custo absoluto de 20% a 40% entre a arquitetura versão básica e a completa (top)	0,33
N ₁	Variação de custo absoluto maior que 40% entre a arquitetura versão básica e a completa (top)	0,00

Tabela 9 - Função valor para o índice de mérito Confiabilidade, Robustez - MTBF

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Nível de robustez superior ao da arquitetura de referência em mais de 20%	1,50
N ₄	Nível de robustez superior ao da arquitetura de referência em até 20%	1,00
N ₃	Nível de robustez igual ao da arquitetura de referência	0,50
N ₂	Nível de robustez inferior ao da arquitetura de referência em até 10%	0,00
N ₁	Nível de robustez inferior ao da arquitetura de referência em mais de 10%	-0,50

Tabela 10 - Função valor para o índice de mérito Flexibilidade

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Variação entre a versão básica e a completa: somente adição de atuadores	1,00
N ₄	Variação entre a versão básica e a completa: adição de atuadores e sensores	0,75
N ₃	Variação entre a versão básica e a completa: adição de atuadores, sensores e software (calibração e aplicação)	0,50
N ₂	Variação entre a versão básica e a completa: adição de atuadores, sensores, software (calibração e aplicação) e módulos	0,25
N ₁	Variação entre a versão básica e a completa: adição de atuadores, sensores, software (calibração e aplicação) e módulos e substituição de módulos e componentes da arquitetura básica	0,00

Tabela 11 - Função valor para o índice de mérito Tempo de Lançamento de Produto (*Time to Market*)

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Prazo menor do que um ano	1,33
N ₄	Prazo de um ano	1,00
N ₃	Prazo de dois anos	0,67
N ₂	Prazo de três anos	0,33
N ₁	Prazo maior do que três anos	0,00

Tabela 12 - Função valor para o índice de mérito Mão-de-Obra de Manutenção

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₄	Não requer mão-de-obra especializada	1,00
N ₃	Requer mão-de-obra especializada em poucos sistemas	0,67
N ₂	Requer mão-de-obra especializada em muitos sistemas	0,33
N ₁	Requer mão-de-obra especializada em todos os sistemas	0,00

Tabela 13 - Função valor para o índice de mérito Tempo de Detecção de Falhas e de Manutenção

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₄	Emprega módulos e componentes auto-diaagnosticáveis em todos os sistemas elétricos	1,50
N ₃	Emprega módulos e componentes auto-diaagnosticáveis apenas em sistemas elétricos críticos	1,00
N ₂	Emprega módulos auto-diaagnosticáveis apenas em sistemas elétricos críticos	0,50
N ₁	Não possui nenhum tipo de auto-diagnóstico	0,00

Tabela 14 - Função valor para o índice de mérito Custo de Manutenção

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₄	Não requer o uso de novos equipamentos	1,00
N ₃	Requer o uso de novos equipamentos de baixo custo	0,67
N ₂	Requer o uso de novos equipamentos de custo elevado	0,33
N ₁	Requer o uso de novos equipamentos e mão-de-obra especializada	0,00

Tabela 15 - Função valor para o índice de mérito Custo de Reposição

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₄	Arquitetura possui poucos componentes, muitos deles comunizados	1,00
N ₃	Arquitetura possui poucos componentes, poucos comunizados	0,67
N ₂	Arquitetura possui muitos componentes, poucos comunizados	0,33
N ₁	Arquitetura possui componentes exclusivos	0,00

Tabela 16 - Função valor para o índice de mérito Reuso

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Arquitetura utiliza mais de 80% dos componentes da arquitetura do veículo-referência	1,33
N ₄	Arquitetura utiliza entre 60% e 80% dos componentes da arquitetura do veículo-referência	1,00
N ₃	Arquitetura utiliza entre 40% e 60% dos componentes da arquitetura do veículo-referência	0,67
N ₂	Arquitetura utiliza entre 20% e 40% dos componentes da arquitetura do veículo-referência	0,33
N ₁	Arquitetura utiliza menos de 20% dos componentes da arquitetura do veículo-referência	0,00

Tabela 17 - Função valor para o índice de mérito Massa

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Massa inferior à da arquitetura elétrica de referência	1,33
N ₄	Massa equivalente à da arquitetura elétrica de referência	1,00
N ₃	Massa superior à da arquitetura elétrica de referência em até 50%	0,67
N ₂	Massa superior à da arquitetura elétrica de referência, entre 50% a 100%	0,33
N ₁	Massa superior à da arquitetura elétrica de referência em mais de 100%	0,00

Tabela 18 - Função valor para o índice de mérito Capacidade do *Hardware* (Sistema e Rede)

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Arquitetura utilizando em torno de 80% de sua capacidade máxima	1,00
N ₄	Arquitetura utilizando em torno de 90% de sua capacidade máxima	0,75
N ₃	Arquitetura utilizando em torno de 60% de sua capacidade máxima	0,50
N ₂	Arquitetura utilizando em torno de 100% de sua capacidade máxima	0,25
N ₁	Arquitetura utilizando até 50% de sua capacidade máxima	0,00

Tabela 19 - Função valor para o índice de mérito Intercambiabilidade

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Permite utilizar módulos e componentes já existentes	1,33
N ₄	Permite utilizar módulos e componentes já existentes, com pequenas mudanças de software	1,00
N ₃	Permite utilizar módulos e componentes já existentes, com grandes mudanças de software	0,67
N ₂	Permite utilizar módulos e componentes já existentes, com pequenas mudanças de software e hardware	0,33
N ₁	Requer o desenvolvimento de novos módulos e/ou componentes elétricos	0,00

Tabela 20 - Função valor para o índice de mérito Influência da Mudança de Requisitos

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Execução da modificação com custo e investimento nulos	1,33
N ₄	Execução da modificação com pequeno investimento e sem custo	1,00
N ₃	Execução da modificação com pequeno investimento e custo reduzido	0,67
N ₂	Execução da modificação com investimento e custo moderados	0,33
N ₁	Execução da modificação com investimento e custo significativos	0,00

Tabela 21 - Função valor para o índice de mérito Proliferação de Peças

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Requer número menor de variantes de peças em relação à arquitetura de referência	1,33
N ₄	Requer número similar de variantes de peças em relação à arquitetura de referência	1,00
N ₃	Requer número maior de variantes de peças em até 20%, em relação à arquitetura de referência	0,67
N ₂	Requer número maior de variantes de peças em até 40%, em relação à arquitetura de referência	0,33
N ₁	Requer um aumento de mais de 40% no número de variantes de peças, em relação à arquitetura de referência	0,00

Tabela 22 - Função valor para o índice de mérito Mão-de-Obra de Manufatura

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₄	Não requer mão-de-obra especializada	1,00
N ₃	Requer mão-de-obra especializada em poucos sistemas	0,67
N ₂	Requer mão-de-obra especializada em muitos sistemas	0,33
N ₁	Requer mão-de-obra especializada em todos os sistemas	0,00

Tabela 23 - Função valor para o índice de mérito Tempo de Manufatura e Montagem

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₅	Inferior ao do sistema elétrico da arquitetura de referência	1,33
N ₄	Equivalente ao sistema elétrico da arquitetura de referência	1,00
N ₃	Superior em até 25% ao sistema elétrico da arquitetura de referência	0,67
N ₂	Superior ao sistema elétrico da arquitetura de referência, de 25% a 50%	0,33
N ₁	Superior a 100% do sistema elétrico da arquitetura de referência	0,00

Tabela 24 - Função valor para o índice de mérito Infra-Estrutura de Manufatura

Nível de Impacto	Descritor	Função de Valor (v_i)
N ₄	Requer menor quantidade de recursos para fabricação do que a arquitetura de referência	1,50
N ₃	Requer quantidade equivalente de recursos para fabricação a da arquitetura de referência	1,00
N ₂	Requer maior quantidade de recursos para fabricação do que a arquitetura de referência	0,50
N ₁	Requer maior quantidade de recursos para fabricação do que a arquitetura de referência, incluindo maior quantidade de mão-de-obra	0,00

4.1.3 Definição das taxas de substituição (pesos)

As taxas de substituição para cada índice de mérito do modelo foram obtidas através do método *swing weights* (67), através do procedimento mencionado no capítulo 3 e com base na experiência profissional de membros da indústria automobilística, sendo estes engenheiros, coordenadores e gerentes de engenharia brasileiros de um centro de desenvolvimento de projetos para todos os mercados mundiais de uma

grande montadora, participantes ativos de comunidades mundiais de engenharia nesta empresa, resultando nos valores ilustrados pela Tabela 25. Estes resultados expressam a opinião de um determinado universo de profissionais que atuam ativamente em projetos de veículos para mercados emergentes e também dos conceitos e valores seguidos pela montadora da qual o profissional faz parte, incluindo, inevitavelmente, as incertezas que são inerentes ao processo de determinação das taxas de substituição. Ao se considerar um universo diferente de profissionais de diversas indústrias do ramo automotivo, as taxas de substituição relativas estarão sujeitas a variações, que podem resultar em uma variação dos resultados obtidos através do modelo proposto.

Tabela 25 - Taxas de substituição para a avaliação de arquiteturas elétricas

Índice de Mérito (Critério)	Taxa de Substituição	
	Relativa (%)	Normalizada (w_i)
Custo	100	0,0877
Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo	90	0,0789
Intercambiabilidade	90	0,0789
Reuso	80	0,0702
Massa	80	0,0702
Confiabilidade, Robustez – MTBF	70	0,0614
Tempo de lançamento de produto (time to market)	70	0,0614
Custo de reposição	70	0,0614
Flexibilidade	60	0,0526
Custo de manutenção	60	0,0526
Proliferação de peças	60	0,0526
Influência da mudança de requisitos	50	0,0439
Custo de mão-de-obra de manufatura	50	0,0439
Tempo de manufatura e montagem	50	0,0439
Mão-de-obra de manutenção	40	0,0351
Tempo de detecção de falhas e de manutenção	40	0,0351
Capacidade do hardware (sistema e rede)	40	0,0351
Infra-estrutura de manufatura	40	0,0351
TOTAL	1140	1,0000

A seqüência de importância dos critérios e, conseqüentemente os pesos atribuídos a cada um dos critérios vão de encontro às características mostradas na pesquisa bibliográfica apresentada neste trabalho, que são os critérios relacionados a custo e às estratégias de reutilização de componentes aparecem no topo da lista, seguidos por critérios associados ao consumo (massa) e qualidade (confiabilidade).

4.1.4 Taxas de substituição para análise de Custo/Benefício

Conforme Ensslin (67), análise de custo/benefício inicia-se com o estabelecimento de dois agrupamentos de índices de mérito formados pela afinidade de cada índice de mérito com os parâmetros custo e benefício. Os totais (w_{icb}) serão utilizados no cálculo dos novos valores de desempenho global agrupado ($V_{cb}(a)$).

Tabela 26 - Agrupamento de Custo/Benefício para a avaliação de arquiteturas elétricas

Agrupamento de Custo		Agrupamento de Benefício	
Índice de Mérito	Taxa de Substituição	Índice de Mérito	Taxa de Substituição
Custo	0,0877	Tempo de lançamento de produto (time to market)	0,0614
Massa	0,0702	Influência da mudança de requisitos	0,0439
Custo de reposição	0,0614	Capacidade do hardware (sistema e rede)	0,0351
Custo de manutenção	0,0526	Flexibilidade	0,0526
Tempo de detecção de falhas e de manutenção	0,0351	Confiabilidade, Robustez – MTBF	0,0614
Proliferação de peças	0,0526	Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo	0,0789
Custo de mão-de-obra de manufatura	0,0439	Intercambiabilidade	0,0789
Tempo de manufatura e montagem	0,0439	Reuso	0,0702
Mão-de-obra de manutenção	0,0351		
Infra-estrutura de manufatura	0,0351		
Total	0,5175		0,4825

Estes agrupamentos foram obtidos pelo ponto de vista da montadora, que busca atender as necessidades de mercado, aproveitando também suas vantagens competitivas para tornar-se cada vez mais lucrativa.

4.1.5 Taxas de substituição para análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade do modelo aqui desenvolvido tem como objetivo avaliar a variação do seu resultado perante uma variação de $\pm 10\%$ no valor da taxa de substituição de seu índice de mérito mais significativo. O resultado desta análise, executada através de método numérico, é mostrado a seguir

O índice de mérito Custo é definido como o mais significativo, com base no resultado da aplicação do método *swing weights*. Assim, a taxa de substituição deste índice de mérito terá seu valor modificado em $\pm 10\%$, impactando no cálculo das novas taxas de substituição para os demais índices de mérito da seguinte forma:

Tabela 27 - Variação das taxas de substituição para a avaliação da sensibilidade do modelo adotado

Índice de Mérito (Critério)	Taxa de Substituição		
	Original (w_i)	10% (Custo)	-10% (Custo)
Custo	0,0877	0,0965	0,0789
Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo	0,0789	0,0782	0,0797
Intercambiabilidade	0,0789	0,0782	0,0797
Reuso	0,0702	0,0695	0,0709
Massa	0,0702	0,0695	0,0709
Confiabilidade, Robustez – MTBF	0,0614	0,0608	0,0620
Tempo de lançamento de produto (<i>time to market</i>)	0,0614	0,0608	0,0620
Custo de reposição	0,0614	0,0608	0,0620
Flexibilidade	0,0526	0,0521	0,0531
Custo de manutenção	0,0526	0,0521	0,0531
Proliferação de peças	0,0526	0,0521	0,0531
Influência da mudança de requisitos	0,0439	0,0434	0,0443
Custo de mão-de-obra de manufatura	0,0439	0,0434	0,0443
Tempo de manufatura e montagem	0,0439	0,0434	0,0443
Mão-de-obra de manutenção	0,0351	0,0348	0,0354
Tempo de detecção de falhas e de manutenção	0,0351	0,0348	0,0354

Índice de Mérito (Critério)	Taxa de Substituição		
	Original (w_i)	10% (Custo)	-10% (Custo)
Capacidade do hardware (sistema e rede)	0,0351	0,0348	0,0354
Infra-estrutura de manufatura	0,0351	0,0348	0,0354
TOTAL	1,0000	1,0000	1,0000

4.2 CASOS SELECIONADOS E APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

Os casos e arquiteturas elétricas selecionadas são baseados em casos reais vivenciados pela Engenharia Automotiva nacional de importantes montadoras.

Detalhes dos projetos (como, por exemplo, a matriz de funções veiculares e o agrupamento destas funções de acordo com pacotes de marketing e de engenharia) foram omitidos devido ao fato de serem confidenciais e de acesso exclusivo da respectiva montadora, não afetando, porém, a execução da análise proposta por este trabalho.

4.2.1 Caso 1: Veículo de passeio *hatch* de baixo custo (popular)

O primeiro caso trata do processo de seleção de uma arquitetura elétrica para um veículo *hatch* tido como popular, isto é, um veículo de baixo custo, de pequenas dimensões, com altos volumes de vendas projetados e baixa margem de lucro.

Este veículo se encontra em produção no mercado nacional desde meados desta década.

O veículo-referência para este caso é o modelo anteriormente em produção.

Serão comparadas três propostas:

- Uma alternativa sugerida na época do desenvolvimento deste projeto, baseada na arquitetura do veículo-referência;
- A arquitetura que foi finalmente adotada para o mercado nacional;
- Uma proposta atual, utilizando novos conceitos para este segmento de mercado e tipo de veículo.

Neste estudo de caso, o desempenho dos critérios adotados poderá ser analisado em uma aplicação *low cost*, muito solicitada em mercados emergentes, além do

confronto entre soluções adotadas no passado e possíveis soluções disponíveis para um futuro próximo.

4.2.1.1 Propostas selecionadas

Alternativa 1: Esta alternativa baseia-se na arquitetura utilizada pelo veículo-referência.

Trata-se de uma arquitetura do tipo independente, onde suas funções foram implementadas de forma independente das outras, através de circuitos elétricos e controles dedicados (Figura 60).

Figura 60 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 1: Topologia de distribuição elétrica

Por esta razão, a arquitetura apresenta um número elevado de circuitos e módulos, possuindo uma integração comparativa muito baixa entre seus módulos, devido à baixa utilização de redes de comunicação (Figura 61).

Figura 61 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 1: Topologia de redes

Como esta arquitetura é amplamente baseada em uma arquitetura pré-existente, seu índice de reuso de peças e componentes é elevado, o que garante menor custo de desenvolvimento e de fabricação para estes itens.

Alternativa 2: Esta arquitetura baseia-se na arquitetura por fim adotada para este projeto e atualmente disponível no veículo em produção.

Trata-se de uma arquitetura mais integrada que a anterior (devido à utilização de um módulo que agrupa as funções atribuídas a três módulos na alternativa anterior – acionamento de vidros, travas e alarme), centralizada, onde um número menor de módulos concentra as mesmas funções oferecidas pelo veículo-referência.

Outra vantagem é sua melhor intercambiabilidade, conquistada através da utilização de módulos já disponíveis na montadora e de aplicação em diversas plataformas de veículos, garantindo alto volume de produção, diminuindo assim o custo de produção por unidade, mesmo utilizando menos componentes da arquitetura antecessora (Figura 62 e Figura 63).

Figura 62 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 2: Topologia de distribuição elétrica

Figura 63 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 2: Topologia de redes

Esta arquitetura utiliza uma menor quantidade de circuitos e componentes, porém a integração entre seus módulos é baixa, com pouca utilização de redes de comunicação, ainda que já contando com conteúdo de funções de diagnóstico mais elaborado.

Alternativa 3: Esta arquitetura incorpora novas tendências e tecnologias disponíveis para sistemas elétricos e eletrônicos.

Trata-se de uma arquitetura ainda mais integrada que a anterior, centralizada, utilizando menor quantidade de circuitos e módulos(Figura 64).

LEGENDA COMPONENTES		LEGENDA CHICOTES	
BAT	Bateria	IMMO	Imobilizador
BCM	Módulo de Controle (Body)	IPC	Painel de Instrumentos
Blower	Motor de Ventilação	PCM	Módulo de Controle do Motor
DLC	Conector da rede serial	PJB	Caixa de Fusíveis Primários
ECC	Módulo de Controle do A/C	Rádio	Rádio
FP	Bomba de Combustível	Starter	Motor de partida
G	Alternador	UEC	Caixa de Fusíveis do Motor
IEC	Caixa de Fusíveis do Painel	Wiper	Limpa-Vidros
		Door WH	de Portas
		ENG WH	do Motor
		FB WH	Frontal
		IP WH	do Console
		PD WH	do Sistema de Energia
		BD WH	de Carroçaria e Chassis
		RR WH	Traseiro
		■	Conectores de chicotes (in-lines)

Figura 64 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 3: Topologia de distribuição elétrica

Utiliza ainda o conceito de utilização de componentes, tecnologias e módulos recém-desenvolvidos, já disponíveis e validados e utilizados ao redor do mundo pela montadora em arquiteturas globais. Possui uma maior flexibilidade e capacidade de evoluir juntamente com os requisitos técnicos e necessidades mercadológicas futuros.

Apesar da menor quantidade de módulos em relação às alternativas apresentadas, possui uma maior integração entre eles, através da utilização de redes de comunicação de alta e baixa velocidade para controle, e não só para diagnóstico (Figura 65).

Figura 65 - Caso 1: Alternativa de Arquitetura 3: Topologia de redes

4.2.1.2 Desempenho local e global das alternativas, de acordo com os critérios selecionados

As alternativas foram analisadas pelo método de agregação aditiva, onde suas notas foram atribuídas por membros atuantes na área de Engenharia Elétrica de Veículos Automotores – engenheiros brasileiros de um centro de desenvolvimento de projetos para mercados mundiais de uma grande montadora, participantes ativos de comunidades mundiais de engenharia nesta empresa.

Os resultados encontrados podem ser vistos na tabela a seguir:

Tabela 28 - Caso 1: Desempenhos locais e globais das alternativas apresentadas

Critério	Tx. Subst. (w_i)	Alternativa 1 (v_i)	Alternativa 2 (v_i)	Alternativa 3 (v_i)
Custo	0,0877	0,67	0,67	1,33
Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo	0,0789	0,00	0,33	0,67
Intercambiabilidade	0,0789	1,50	1,50	1,50
Reuso	0,0702	0,25	0,25	0,50
Massa	0,0702	1,00	1,00	0,33
Confiabilidade, Robustez - MTBF	0,0614	1,00	1,00	1,00
Tempo de lançamento de produto (time to market)	0,0614	0,50	1,00	1,50
Custo de reposição	0,0614	1,00	1,00	1,00
Flexibilidade	0,0526	0,67	1,00	0,67
Custo de manutenção	0,0526	0,67	1,00	0,00
Proliferação de peças	0,0526	1,00	1,00	1,00
Influência da mudança de requisitos	0,0439	0,75	0,75	1,00
Custo de mão-de-obra de manufatura	0,0439	0,33	1,00	1,00
Tempo de manufatura e montagem	0,0439	0,33	0,67	0,67
Mão-de-obra de manutenção	0,0351	0,33	0,67	1,00
Tempo de detecção de falhas e de manutenção	0,0351	1,00	1,00	1,00
Capacidade do hardware (sistema e rede)	0,0351	0,67	1,00	1,00
Infra-estrutura de manufatura	0,0351	0,50	1,00	1,00
Desempenho Global V(a)		0,691	0,868	0,906

Agrupando os critérios em áreas de interesse (como mostrado na Tabela 6), têm-se os seguintes valores:

Tabela 29 - Caso 1: Desempenhos locais e globais por área de interesse

Áreas de Interesse	Alternativa 1 ($w_i \cdot v_i$)	Alternativa 2 ($w_i \cdot v_i$)	Alternativa 3 ($w_i \cdot v_i$)
Mercado	0,0588	0,0848	0,1696
Estratégias de Engenharia	0,2625	0,2741	0,2556
Qualidade	0,0614	0,0614	0,0614
Estratégias de Mercado	0,0660	0,1140	0,1274
Serviços de Pós-venda	0,1433	0,1726	0,1316
Manufatura, Logística	0,0991	0,1610	0,1610
Desempenho Global V(a)	0,691	0,868	0,906

Desta tabela foi obtido o perfil de impacto das alternativas (Figura 66). Nele é possível comparar cada área de interesse em separado do desempenho global, permitindo visualizar as diferenças entre as alternativas com maior clareza:

Figura 66 - Caso 1: Perfil de impacto das alternativas apresentadas

4.2.1.3 Análise de Custo/Benefício

Agrupando os valores de desempenho local obtidos em Custo e Benefício, observam-se os seguintes resultados:

Tabela 30 - Caso 1: Custo/Benefício das alternativas apresentadas

Agrupamento de Critérios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Custo	0,7176	0,8937	0,8354
Benefício	0,6627	0,8404	0,9827

O gráfico correspondente a esta tabela, com sua respectiva fronteira eficiente, é mostrada a seguir (Figura 67):

Figura 67 - Caso 1: Gráfico de Custo versus Benefício das alternativas propostas

4.2.1.4 Análise de Sensibilidade

A análise da sensibilidade foi realizada alterando-se o peso do critério Custo em 10% (para mais e para menos). Os valores obtidos foram:

Tabela 31 - Caso 1: Estudo de sensibilidade com peso do critério Custo alterado em +10%

Critério	Tx. Subst. (w_i)	Alternativa 1 (v_i)	Alternativa 2 (v_i)	Alternativa 3 (v_i)
Custo	0,0965	0,67	0,67	1,33
Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo	0,0782	0,00	0,33	0,67
Intercambiabilidade	0,0782	1,50	1,50	1,50
Reuso	0,0695	0,25	0,25	0,50
Massa	0,0695	1,00	1,00	0,33
Confiabilidade, Robustez - MTBF	0,0608	1,00	1,00	1,00
Tempo de lançamento de produto (time to market)	0,0608	0,50	1,00	1,50
Custo de reposição	0,0608	1,00	1,00	1,00
Flexibilidade	0,0521	0,67	1,00	0,67
Custo de manutenção	0,0521	0,67	1,00	0,00
Proliferação de peças	0,0521	1,00	1,00	1,00
Influência da mudança de requisitos	0,0434	0,75	0,75	1,00
Custo de mão-de-obra de manufatura	0,0434	0,33	1,00	1,00
Tempo de manufatura e montagem	0,0434	0,33	0,67	0,67
Mão-de-obra de manutenção	0,0348	0,33	0,67	1,00
Tempo de detecção de falhas e de manutenção	0,0348	1,00	1,00	1,00
Capacidade do hardware (sistema e rede)	0,0348	0,67	1,00	1,00
Infra-estrutura de manufatura	0,0348	0,50	1,00	1,00
Desempenho Global V(a)		0,691	0,866	0,911

Tabela 32 - Caso 1: Estudo de sensibilidade com peso do critério Custo alterado em -10%

Critério	Tx. Subst. (w_i)	Alternativa 1 (v_i)	Alternativa 2 (v_i)	Alternativa 3 (v_i)
Custo	0,0789	0,67	0,67	1,33
Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo	0,0797	0,00	0,33	0,67
Intercambiabilidade	0,0797	1,50	1,50	1,50
Reuso	0,0709	0,25	0,25	0,50
Massa	0,0709	1,00	1,00	0,33
Confiabilidade, Robustez - MTBF	0,0620	1,00	1,00	1,00
Tempo de lançamento de produto (<i>time to market</i>)	0,0620	0,50	1,00	1,50
Custo de reposição	0,0620	1,00	1,00	1,00
Flexibilidade	0,0531	0,67	1,00	0,67
Custo de manutenção	0,0531	0,67	1,00	0,00
Proliferação de peças	0,0531	1,00	1,00	1,00
Influência da mudança de requisitos	0,0443	0,75	0,75	1,00
Custo de mão-de-obra de manufatura	0,0443	0,33	1,00	1,00
Tempo de manufatura e montagem	0,0443	0,33	0,67	0,67
Mão-de-obra de manutenção	0,0354	0,33	0,67	1,00
Tempo de detecção de falhas e de manutenção	0,0354	1,00	1,00	1,00
Capacidade do hardware	0,0354	0,67	1,00	1,00
Infra-estrutura de manufatura	0,0354	0,50	1,00	1,00
Desempenho Global V(a)		0,691	0,870	0,902

A tabela comparativa dos desempenhos globais obtidos é disponibilizada a seguir:

Tabela 33 - Caso 1: Sensibilidade: Comparativo dos valores de desempenho global obtidos

Alternativas	V(a) Original	V(a) +10% Custo	V(a) -10% Custo
Arquitetura 1	0,691	0,691	0,691
Arquitetura 2	0,868	0,866	0,870
Arquitetura 3	0,906	0,911	0,902

4.2.1.5 Discussão dos Resultados

Pelos resultados obtidos, a Alternativa 3 apresentou o melhor desempenho global, apresentando também o melhor índice de benefício, podendo ser considerada, portanto, a melhor alternativa apresentada, mesmo apresentando um índice de custo um pouco inferior à Alternativa 2.

Quanto aos critérios utilizados, todos tiveram participação ativa no resultado final, com exceção da área de interesse Qualidade, que recebeu a mesma nota em todas as alternativas apresentadas, pois todos os componentes das alternativas apresentadas possuem robustez semelhante e as soluções de engenharia adotadas seguem as mesmas normas internas de qualidade.

O resultado final, com a escolha da Alternativa 3 como sendo a melhor dentre as apresentadas, comprova a coerência dos critérios e pesos adotados para este estudo de caso, uma vez que apontaram para a alternativa que utiliza os conceitos mais avançados de arquitetura *low cost* para mercados emergentes existentes hoje.

A análise de sensibilidade mostrou que o modelo adotado é bastante robusto, uma vez que os valores obtidos com a variação do peso do critério mais influente (Custo) apresentaram pouca variação em relação aos valores obtidos originalmente, não causando, inclusive, nenhuma alteração no *ranking* das alternativas.

4.2.2 Caso 2: Veículo de passeio sedan médio de luxo

O segundo caso trata do processo de seleção de uma arquitetura elétrica para um veículo médio, tipo sedan, com menor volume de vendas projetado, porém com maior margem de lucro e maior conteúdo de opções (número de funções), uma vez que este veículo destina-se ao segmento de luxo desta categoria.

Este veículo, produzido para o mercado nacional desde meados da década de 2000, foi originalmente desenvolvido e produzido para o mercado europeu, tendo posteriormente seu conteúdo adaptado para o mercado nacional.

O veículo-referência para este caso é o modelo anterior em produção no mercado nacional.

Serão comparadas três arquiteturas existentes no início deste projeto:

- A arquitetura original adotada para o mercado europeu com o conteúdo limitado ao solicitado pelo mercado nacional;
- Uma alternativa inicialmente sugerida para o mercado nacional;
- A arquitetura finalmente adotada para o mercado nacional.

Desta forma, os critérios adotados pela solução europeia (mercado desenvolvido) poderão ser confrontados com os critérios adotados para arquiteturas destinadas aos mercados emergentes.

4.2.2.1 Propostas selecionadas

Alternativa 1: Esta arquitetura é baseada na arquitetura original do projeto europeu, mantendo apenas o conteúdo restringido para o mercado nacional.

Observa-se um número elevado de módulos, praticamente todos conectados às redes de comunicação (Figura 68 e Figura 69), um sistema inteligente de controle e distribuição de alimentação, formado por dois módulos (frontal e traseiro) e conseqüentemente um número maior de chicotes, características justificadas pelo elevado número de funções disponíveis no projeto original e pela utilização de critérios de projetos pertinentes a mercados desenvolvidos.

Figura 68 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 1: Topologia de distribuição elétrica

Figura 69 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 1: Topologia de redes

Devido ao fato do baixo volume deste segmento de veículos em países emergentes, quando comparado ao mercado europeu, e da baixa quantidade de funções disponíveis para o mercado nacional, esta arquitetura pode tornar-se superdimensionada, o que resultaria em custos excessivos sem agregação de valor ao consumidor, além do baixo índice de utilização de peças de produção nacional, pois a sua nacionalização é inviabilizada pelo baixo volume de produção planejado.

Alternativa 2: Esta arquitetura sugerida baseia-se na arquitetura utilizada pelo veículo-referência, no caso o veículo anteriormente em produção.

Trata-se de uma arquitetura do tipo independente, onde suas funções apresentam-se de forma independente das outras, através de circuitos e controles dedicados (Figura 70).

Figura 71 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 2: Topologia de rede

Alternativa 3: Esta arquitetura baseia-se na arquitetura por fim adotada para este projeto e atualmente disponível no veículo em produção.

Trata-se de uma arquitetura mais centralizada que a alternativa anterior, utilizando menor quantidade de circuitos e componentes, condizente com o baixo número de funções disponíveis (Figura 72 e Figura 73).

Uma grande vantagem desta arquitetura é ser baseada numa arquitetura mais antiga, já existente no mercado nacional, adotada em outros veículos de mesma plataforma ainda em produção, garantindo um índice de reuso muito elevado. Por outro lado, a integração entre seus módulos e sua flexibilidade é limitada em relação ao de uma arquitetura inteiramente nova.

Figura 72 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 3: Topologia de distribuição elétrica

Figura 73 - Caso 2: Alternativa de Arquitetura 3: Topologia de redes

4.2.2.2 Desempenho local e global das alternativas, de acordo com os critérios selecionados

As alternativas foram analisadas pelo método de agregação aditiva, onde suas notas foram atribuídas por membros atuantes na área de Engenharia Elétrica de Veículos Automotores – engenheiros brasileiros de um centro de desenvolvimento de projetos para mercados mundiais de uma grande montadora, participantes ativos de comunidades mundiais de engenharia nesta empresa.

Os resultados encontrados podem ser vistos na tabela a seguir:

Tabela 34 - Caso 2: Desempenhos locais e globais das alternativas apresentadas

Critério	Tx. Subst. (w_i)	Alternativa 1 (v_i)	Alternativa 2 (v_i)	Alternativa 3 (v_i)
Custo	0,0877	0,67	1,00	1,33
Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo	0,0789	0,33	0,33	0,33
Intercambiabilidade	0,0789	0,50	0,50	0,50
Reuso	0,0702	0,25	0,25	0,25
Massa	0,0702	0,67	1,00	0,67
Confiabilidade, Robustez - MTBF	0,0614	0,67	1,00	1,00
Tempo de lançamento de produto (time to market)	0,0614	0,50	0,50	0,50
Custo de reposição	0,0614	1,00	1,00	1,00
Flexibilidade	0,0526	0,33	0,33	1,00
Custo de manutenção	0,0526	0,00	1,00	0,33
Proliferação de peças	0,0526	0,67	1,00	1,00
Influência da mudança de requisitos	0,0439	0,50	0,50	1,00
Custo de mão-de-obra de manufatura	0,0439	1,00	0,33	1,00
Tempo de manufatura e montagem	0,0439	0,67	0,67	0,67
Mão-de-obra de manutenção	0,0351	1,00	1,00	0,67
Tempo de detecção de falhas e de manutenção	0,0351	1,00	1,00	1,00
Capacidade do hardware (sistema e rede)	0,0351	1,00	1,00	1,33
Infra-estrutura de manufatura	0,0351	1,00	1,00	1,00
Desempenho Global V(a)		0,610	0,723	0,780

Agrupando os critérios em áreas de interesse (como mostrado na Tabela 6), têm-se os seguintes valores:

Tabela 35 - Caso 2: Desempenhos locais e globais por área de interesse

Áreas de Interesse	Alternativa 1 ($w_i \cdot v_i$)	Alternativa 2 ($w_i \cdot v_i$)	Alternativa 3 ($w_i \cdot v_i$)
Mercado	0,0848	0,1138	0,1427
Estratégias de Engenharia	0,1611	0,1842	0,1946
Qualidade	0,0411	0,0614	0,0614
Estratégias de Mercado	0,0481	0,0481	0,0833
Serviços de Pós-venda	0,1316	0,1842	0,1374
Manufatura, Logística	0,1436	0,1316	0,1610
Desempenho Global V(a)	0,610	0,723	0,780

Desta tabela foi obtido o perfil de impacto das alternativas. Nele é possível comparar cada área de interesse em separado do desempenho global, permitindo visualizar as diferenças entre as alternativas com maior clareza (Figura 74):

Figura 74 - Caso 2: Perfil de impacto das alternativas apresentadas

4.2.2.3 Análise de Custo/Benefício

Agrupando os valores de desempenho local obtidos em Custo e Benefício, observam-se os seguintes resultados:

Tabela 36 - Caso 2: Custo/Benefício das alternativas apresentadas

Agrupamento de Critérios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Custo	0,7361	0,9153	0,8927
Benefício	0,4753	0,5173	0,6598

O gráfico correspondente a esta tabela, com sua respectiva fronteira eficiente, é mostrada na Figura 75:

Figura 75 - Caso 2: Gráfico de Custo versus Benefício das alternativas propostas

4.2.2.4 Análise de Sensibilidade

A análise da sensibilidade foi realizada alterando-se o peso do critério Custo em mais ou menos 10%. Os valores obtidos foram:

Tabela 37 - Caso 2: Estudo de sensibilidade com peso do critério Custo alterado em +10%

Crítério	Tx. Subst. (w _i)	Alternativa 1 (v _i)	Alternativa 2 (v _i)	Alternativa 3 (v _i)
Custo	0,0965	0,67	1,00	1,33
Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo	0,0782	0,33	0,33	0,33
Intercambiabilidade	0,0782	0,50	0,50	0,50
Reuso	0,0695	0,25	0,25	0,25
Massa	0,0695	0,67	1,00	0,67
Confiabilidade, Robustez - MTBF	0,0608	0,67	1,00	1,00
Tempo de lançamento de produto (time to market)	0,0608	0,50	0,50	0,50
Custo de reposição	0,0608	1,00	1,00	1,00
Flexibilidade	0,0521	0,33	0,33	1,00
Custo de manutenção	0,0521	0,00	1,00	0,33
Proliferação de peças	0,0521	0,67	1,00	1,00
Influência da mudança de requisitos	0,0434	0,50	0,50	1,00
Custo de mão-de-obra de manufatura	0,0434	1,00	0,33	1,00
Tempo de manufatura e montagem	0,0434	0,67	0,67	0,67

Critério	Tx. Subst. (w _i)	Alternativa 1 (v _i)	Alternativa 2 (v _i)	Alternativa 3 (v _i)
Mão-de-obra de manutenção	0,0348	1,00	1,00	0,67
Tempo de detecção de falhas e de manutenção	0,0348	1,00	1,00	1,00
Capacidade do hardware (sistema e rede)	0,0348	1,00	1,00	1,33
Infra-estrutura de manufatura	0,0348	1,00	1,00	1,00
Desempenho Global V(a)		0,611	0,726	0,786

Tabela 38 - Caso 2: Estudo de sensibilidade com peso do critério Custo alterado em -10%

Critério	Tx. Subst. (w _i)	Alternativa 1 (v _i)	Alternativa 2 (v _i)	Alternativa 3 (v _i)
Custo	0,0789	0,67	1,00	1,33
Classificação do veículo quanto ao espectro de conteúdo	0,0797	0,33	0,33	0,33
Intercambiabilidade	0,0797	0,50	0,50	0,50
Reuso	0,0709	0,25	0,25	0,25
Massa	0,0709	0,67	1,00	0,67
Confiabilidade, Robustez - MTBF	0,0620	0,67	1,00	1,00
Tempo de lançamento de produto (time to market)	0,0620	0,50	0,50	0,50
Custo de reposição	0,0620	1,00	1,00	1,00
Flexibilidade	0,0531	0,33	0,33	1,00
Custo de manutenção	0,0531	0,00	1,00	0,33
Proliferação de peças	0,0531	0,67	1,00	1,00
Influência da mudança de requisitos	0,0443	0,50	0,50	1,00
Custo de mão-de-obra de manufatura	0,0443	1,00	0,33	1,00
Tempo de manufatura e montagem	0,0443	0,67	0,67	0,67
Mão-de-obra de manutenção	0,0354	1,00	1,00	0,67
Tempo de detecção de falhas e de manutenção	0,0354	1,00	1,00	1,00
Capacidade do hardware (sistema e rede)	0,0354	1,00	1,00	1,33
Infra-estrutura de manufatura	0,0354	1,00	1,00	1,00
Desempenho Global V(a)		0,610	0,721	0,775

Uma tabela comparativa dos desempenhos globais obtidos é disponibilizada a seguir:

Tabela 39 - Caso 2: Sensibilidade: Comparativo dos valores de desempenho global obtidos

Alternativas	V(a) Original	V(a) +10% Custo	V(a) -10% Custo
Arquitetura 1	0,610	0,611	0,610
Arquitetura 2	0,723	0,726	0,721
Arquitetura 3	0,780	0,786	0,775

4.2.2.5 Discussão dos Resultados

Pelos resultados obtidos, a Alternativa 3 apresentou o melhor desempenho global, apresentando também o melhor índice de benefício (na análise de Custo/Benefício), podendo ser considerada, portanto, a melhor alternativa apresentada, mesmo apresentando um índice de custo um inferior à Alternativa 2.

Quanto aos critérios utilizados, todas as áreas de interesse tiveram participação ativa no resultado final.

O resultado final, com a escolha da Alternativa 3 como sendo a melhor dentre as apresentadas, comprova a coerência dos critérios e pesos adotados para este estudo de caso, uma vez que apontaram para a alternativa que utiliza os conceitos específicos para mercados emergentes.

Como era esperado, a alternativa baseada em projeto europeu, o qual utilizou critérios de desenvolvimento voltados para mercados desenvolvido, foi a que apresentou o pior desempenho, comprovando, mais uma vez, a necessidade de se estabelecer critérios de escolha de arquiteturas elétricas específicos para mercados emergentes.

A análise de sensibilidade mostrou que o modelo adotado (critérios, descritores e pesos) é bastante robusto, uma vez que os valores obtidos com a variação do peso do critério mais influente (Custo) apresentaram pouca variação (67) em relação aos valores obtidos originalmente, não causando, inclusive, nenhuma alteração no *ranking* das alternativas.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo estabelecer critérios de seleção de arquiteturas elétricas para mercados emergentes. Este objetivo foi justificado pela pesquisa bibliográfica realizada, da qual emergiu a importância dos dois aspectos abordados:

- A importância da eletrônica embarcada: a pesquisa mostrou a evolução da eletrônica embarcada na indústria automotiva, e também sua enorme colaboração nas maiores evoluções veiculares, seja quanto a segurança, desempenho ou conforto.

Hoje, a eletrônica embarcada é responsável por cerca de 80% das inovações em veículos, respondendo por mais de 20% do custo do veículo, redefinindo, desta maneira, o conceito de arquitetura elétrica: a definição do esquema de arranjo de componentes, sistemas e funções do veículo, definindo as características que serão seguidas durante todo o projeto do veículo. Ela é, portanto, responsável pela definição da alocação física e lógica da eletrônica embarcada, suportando as necessidades mercadológicas, técnicas e comerciais estabelecidas pela montadora.

- A importância do mercado emergente: a pesquisa não só mencionou o conceito de mercados emergentes, que se refere aos países que apresentam grande aceleração de seu crescimento econômico e industrial, cujos mercados ainda não atingiram a maturidade vista em mercados como o europeu e o norte-americano, como também mostrou a enorme importância destes mercados para a indústria mundial.

Estes mercados, como o brasileiro, russo, chinês, indiano, num total de 25 países, respondem por quase 30% do mercado mundial de automóveis, com previsões de crescimento mesmo após a crise de 2008.

Esta é a razão pela qual as grandes montadoras mundiais também buscam estes mercados, e passam então a desenvolver veículos específicos para estes consumidores, como veículos *low cost*, já que estes mercados possuem características diferentes daquelas encontradas em mercados desenvolvidos, como a sensibilidade ao preço e baixo número de funções disponíveis, por exemplo.

Como se afirmou no item 2.3.2.2, vem daí a necessidade de se estabelecer critérios de escolha de arquiteturas elétricas específicas para estes mercados.

A pesquisa bibliográfica mostrou também as principais técnicas, critérios, conceitos e processos utilizados mundialmente em projetos de arquiteturas, inclusive com exemplos de arquiteturas adotadas em mercados emergentes.

Desta pesquisa bibliográfica, somada a entrevistas informais com membros da indústria automotiva, possibilitando a incorporação do conhecimento tácito à análise, se originou os dezoito critérios para seleção de arquiteturas elétricas para estes mercados.

Para a aplicação destes critérios, utilizou-se o método de agregação aditiva, devido a sua capacidade de avaliar simultaneamente diversas alternativas, através de parâmetros qualitativos. Tal método, discutido na metodologia, mostrou-se muito eficiente por permitir uma avaliação rápida e coerente da análise proposta perante modificações em quaisquer parâmetros existentes.

O teste prático dos critérios, em associação ao método de agregação aditiva, foi realizado através de dois estudos de caso:

- O primeiro, baseado em um veículo *hatch low cost*, confrontou soluções adotadas no passado, no presente (em produção) e no futuro próximo, adotando tecnologias e tendências para estes mercados. O resultado da análise confirmou os prognósticos, apontando para a arquitetura futura como a melhor solução para este tipo de veículo. Este resultado não só confirma a tendência do mercado como também comprova a coerência dos critérios adotados, descritores e do próprio método de tomada de decisão.
- O segundo, baseado em um veículo sedan médio de luxo, confrontou soluções adotadas para mercados desenvolvidos e mercados emergentes para o mesmo segmento de veículo. O resultado novamente confirmou a arquitetura elétrica hoje em produção no mercado nacional como sendo a melhor solução para este produto, ratificando a coerência dos critérios e modelos adotados e confirmando mais uma vez a real necessidade de se estabelecer estes critérios para os mercados emergentes.

A robustez do modelo adotado, englobando o método de análise, os critérios, os descritivos e pesos adotados e os valores atribuídos aos descritores, foi avaliada pelo teste de sensibilidade, onde seus resultados permaneceram inalterados após uma variação de $\pm 10\%$ na taxa de substituição do índice de mérito custo, com maior peso no cálculo. Com isto, pode-se afirmar que o modelo de avaliação construído é consistente e seu resultado indica a tendência de arquitetura elétrica a ser, eventualmente, desenvolvida de acordo com os critérios aqui estabelecidos, quando sua aplicação for destinada a mercados emergentes.

Convém ressaltar que, para o tema em questão (ou estudos de caso), a robustez e consistência do modelo de avaliação obtido e a importância comprovada dos critérios selecionados são pertinentes e válidos, considerando-se o fato de que a definição dos pesos e notas atribuídas ao modelo serem feitas pelo avaliador, as quais são diretamente dependentes do conhecimento adquirido pela empresa, seja ela montadora ou fornecedora, e vivência do responsável pela avaliação, sujeitando-as, desta forma, a seus próprios conceitos.

Ressalta-se, por fim, que este trabalho contribuiu para a evolução do estudo da arquitetura elétrica para mercados emergentes, através da aplicação de uma metodologia sistemática para a avaliação de diversas arquiteturas elétricas de forma simultânea.

Tal metodologia utiliza o conhecimento adquirido através da evolução histórica do conceito de arquitetura elétrica, além de permitir a consideração de análises críticas existentes na literatura, como base para gerar uma ferramenta de avaliação que propicie o uso de critérios objetivos para a tomada de decisão.

Vale lembrar que, durante a pesquisa bibliográfica, não foi possível identificar estudos disponíveis atualmente na literatura, cuja abordagem seja semelhante à adotada neste trabalho.

Referências Bibliográficas

1. **SALERNO, M. S.** Indústria Automobilística na virada do século. [A. do livro] G ARBIX e M ZILBOVICIUS. *De JK a FHC: A Reinvenção dos carros*. São Paulo : Scritta, 1997, pp. 503-519.
2. **FERREIRA, C. S.** *Diretrizes para a definição de estratégias para o desenvolvimento de veículos globais*. Escola Politécnica da USP. São Paulo : s.n., 2007. p. 159, Dissertação de mestrado.
3. **MANUCHAKIAN, P.** Engenharia de produtos da GMB: evolução, tecnologia e inovação. *Simpósio SAE: Tendências na indústria automobilística*. 04 de Setembro de 2006.
4. **ULRICH, K. e EPPINGER, S.** *Product design and development*. 2a. Edição. New York : McGraw-Hill, 2000. p. 384.
5. **HODGES, P.** *Issues in automotive product platform strategies*. Warrendale : Society of Automotive Engineers, Inc., 2004. 2004-01-0483.
6. **ARMSTRONG, J. E.** Issue formulation. [A. do livro] A. P. SAGE e W. B. ROUSE. *Handbook of systems engineering and management*. New York : John Wiley & Sons, 1999, pp. 933-996.
7. **LEVIS, A. H.** System architectures. [A. do livro] A. P. SAGE e W. B. ROUSE. *Handbook of systems engineering and management*. New York : John Wiley & Sons, 1999, pp. 427-453.
8. **MAIER, M. W. e RECHTIN, E.** *The art of systems architecting*. 2a. Edição. Boca Raton : CRC Press, 2000. p. 344. ISBN 0849304407.
9. **RUSHTON, G. and MERCHANT, V.** *Vehicle electrical/electronic system design considerations*. Warrendale : Society of Automotive Engineers, Inc., 2000. 2000-01-0131.
10. **REICHART, G. e HANEBERG, M.** *Key drivers for a future system architecture in vehicles*. Detroit : Convergence Transportation Electronics Association, 2004. 2004-21-0025.
11. **LEEN, G. e HEFFERNAN, D.** Expanding automotive electronic systems. *Computer: IEEE Computer Society*. Jan de 2002, Vol. 35, 1, pp. 88-93.
12. **OLIVEIRA, E. C.** *Electrical architectures and networks of B entry vehicles*. São Paulo : Society of Automotive Engineers, Inc., 2007. 2007-01-2958.
13. **GENERAL MOTORS CORPORATION.** Global Vehicle Development Process. *GM Socrates (Intranet)*. [Online] [Citado em: 16 de Janeiro de 2009.] <http://vdp.gm.com/gvdp/>.
14. **SIMPSON, T.W., SIDDIQUE, Z. e JIAO, J.** *Product platform and product family design: methods and applications*. New York : Springer, 2006. ISBN 0-387-25721-7.
15. **JOHNSTON, R. H.** A history of automobile electrical system. *Automotive Engineering International*. Sep., 1996, Vol. 114, pp. 56-66.

16. **GIVENS, L.** A technical history of the automobile, Part I. *Automotive Engineering International*. Jun., 1990, Vol. 98, 6, pp. 61-67.
17. **HARTZELL, H. L.** *The 12-volt story*. Delco-Remy. 1952. p. 17.
18. **KASSAKIAN, J. G., et al.** *The future of automotive electrical systems*. Dearborn : IEEE, 1996. p. 10.
19. **PAPAIOANNOU, I. N.** *Estudo da eletrônica embarcada automotiva e sua situação atual no Brasil*. Escola Politécnica da USP. São Paulo : s.n., 2005. p. 89, Dissertação de mestrado.
20. **BOSCH, R.** *Manual de Tecnologia Automotiva*. 25ª Edição. São Paulo : Edgard Blücher, 2005.
21. **GIVENS, L.** A technical history of the automobile, Part III. *Automotive Engineering International*. Aug., 1990, Vol. 98, 8, pp. 49-52.
22. —. A technical history of the automobile, Part II. *Automotive Engineering International*. Jul., 1990, Vol. 98, 7, pp. 43-48.
23. **MAYER, E.** Serial bus systems in the automobile, Part 1: Motivation, advantages, tasks and architecture of serial bus systems in the automobile. *Elektronik Automotive*. Nov., 2006.
24. **MILLER, J. M., et al.** *Current status and future trends in more electric car power systems*. Dearborn : IEEE, 1999. p. 5.
25. **OLIVEIRA, E. C.** *Electrical architectures and in-vehicles networks*. São Paulo : Society of Automotive Engineers, Inc., 2007. 2007-01-1713.
26. **VECTOR.** Serial Bus System. *Vector Worldwide*. [Online] [Cited: 12 20, 2008.] <http://www.vector-worldwide.com>.
27. **MAYER, E.** Status quo and future of ECU communication in automobiles. *ECE Magazine*. 2006, Sep., pp. 21-23.
28. **GUTHRIE, T.** *Overview of current automotive protocols*. Novi : Vector CANtech, Inc., 2008. AN-AND-1-159.
29. **EMAUS, B.** *Current vehicle network architecture trends – 2000*. Detroit : Society of Automotive Engineers, Inc., 2000. 2000-01-0146.
30. **GUIMARÃES, A. A.** *Eletrônica embarcada automotiva*. São Paulo : Érica, 2007. ISBN 978-85-365-0157-4.
31. **MAYER, E.** Serial bus systems in the automobile, Part 2: Reliable data exchange in the automobile with CAN. *Elektronik Automotive*. Dec., 2006.
32. **BANNATYLE, R. e LEIH, D.** *Future developments in electronically controlled body and safety systems*. Detroit : Society of Automotive Engineers, Inc., 2000. 2000-01-3076.
33. **MAYER, E.** Serial bus systems in the automobile, Part 5: MOST for transmission of multimedia data. *Elektronik Automotive*. Apr., 2007.
34. —. Serial bus systems in the automobile, Part 4: FlexRay for data exchange in highly critical safety applications. *Elektronik Automotive*. Mar., 2007.

35. **MASRUR, M., SHEN, J. e RICHARDSON, P.** *Issues on load availability and reliability in vehicular multiplexed and non-multiplexed wiring harness systems.* Detroit : Society of Automotive Engineers, Inc., 2003. 2003-01-1096.
36. **DANNENBERG, R.** *A vehicle electrical system architecture based on a multiplexed design for operator controls and indicators.* Warrendale : Society of Automotive Engineers, Inc., 2001. 2001-01-2740.
37. **MAHMUD, S. M. e ALLES, S.** *In-vehicle network architecture for the next-generation vehicles.* Detroit : Society of Automotive Engineers, Inc., 2005. 2005-01-1531.
38. **FRISCHKORN, H.** Thinking in architectures. *dSpace News*. jan. 2005.
39. **SAAD, A., et al.** *Intelligent automotive system services - An emerging design pattern for an advanced E/E-architecture.* Detroit : Society of Automotive Engineers, Inc., 2006. 2006-01-1286.
40. **DEHAENE, J.** *Configuration management in AUTOSAR: The need for efficient process tools for automotive system engineering.* Malakoff : DehaeneVector France S.A.S., 2008.
41. **JONES, J., RUSSEL, K. e RAJESH, C. L.** *Scalable modular architecture (SMA)– Analyzing electrical hardpoints to realize an optimum EEDS architecture.* Detroit : Convergence Transportation Electronics Association, 2004. 2004-21-0029.
42. **ABOWD, P. e RUSHTON, G.** *Extensible and upgradeable vehicle electrical, electronic, and software architectures.* Detroit : Society of Automotive Engineers, Inc., 2002. 2002-01-0878.
43. **DÜRR, R.** Vector Informatik GmbH. *AUTOSAR – History, current status and cooperations.* [Online] [Cited: Dezembro 20, 2008.] www.vector-informatik.com.
44. **HEINECKE, H., et al.** *AUTomotive Open System ARchitecture - An industry-wide initiative to manage the complexity of emerging automotive E/E-architectures.* Troy : Convergence Transportation Electronics Association, 2004. 2004-21-0042.
45. **KIRCHNER, S.** *FlexRay & AUTOSAR :Industry benefits and challenges.* 2008.
46. **CHINELATO, E.** *Desenvolvendo veículos populares a partir da necessidade do consumidor com propostas de baixo custo variável.* Escola Politécnica da USP. São Paulo : s.n., 2004. p. 104, Dissertação de mestrado.
47. **KAMINSKI, P. C.** *Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade.* Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000. p. 132.
48. **WARD, D.K. and FIELDS, H.L.** *A vision of the future of automotive electronics.* Detroit : Society of Automotive Engineers, Inc., 2000. 2000-01-1358.
49. **BLERZYNSKI, R. e JACKSON, B.** *OEM reuse expectations and implications for new automotive electronic systems.* Detroit : Convergence Transportation Electronics Association, 2004. 2004-21-0013.
50. **REILHAC, P. e BAVOUX, B.** *Vehicle E/E architecture: a new paradigm for collaborative product creation? A case study.* Detroit : Society of Automotive Engineers, Inc., 2002. 2002-21-0006.

51. **CLEMENTE, R. C., et al.** *The Evolution of the Product Development Process by the Strategic Contribution of the Information Technology in an Automaker Company*. s.l. : Society of Automotive Engineers, Inc, 2003. 2003-01-3722.
52. **HEURUNG, T.** *In-vehicle network: Design methodology*. Wilsonville : Mentor Graphics Corporation, 2006.
53. **DATAMONITOR.** *New cars: Global industry guide*. New York : Datamonitor, 2008. OHEC4898.
54. **RAETZ, M., DOMBY, D. e PIPPEN, C.** 2008 Global market data book. *Automotive News*. 23 de Junho de 2008.
55. **GENERAL MOTORS CORPORATION.** *2009 – 2014 Restructuring plan*. Detroit : General Motors Co., 2009.
56. **LING, J. e WANG, J.** *Mega trends of automotive industry and evolution of reliability engineering*. Detroit : Society of Automotive Engineers, Inc., 2004. 2004-01-1539.
57. **MORGAN STANLEY CAPITAL INTERNATIONAL.** MSCI Emerging Markets Index. *MSCI-Barra*. [Online] [Citado em: 11 de Novembro de 2008.] <http://www.ms cibarra.com/products/indices/licd/em.html>.
58. **BURSA, M.** *Latin America automotive market review - Management briefing*. Bromsgrove : Aroq Limited, 2007. p. 28.
59. —. *Mercosur automotive market review - Management briefing*. Bromsgrove : Aroq Limited, 2008. p. 30.
60. **ALERIGI, A. e GRUDGINGS, S.** Montadoras de veículos no Brasil tiram pé do freio. *Estadão.com.br*. [Online] Grupo Estado, 08 de Abril de 2009. [Citado em: 14 de Maio de 2009.] <http://www.estadão.com.br/noticias/economia,montadoras-de-veiculos-no-brasil-tiram-pe-do-freio,352084,0.htm>.
61. **J.D. POWER & ASSOCIATES.** Guide to China's automarket. *Automotive News*. Abril de 2008.
62. **ANJOS, J. S.** Quality & reliability in the automotive product development for emerging markets. *XVI Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva*. Setembro de 2008, p. 13.
63. **ARMSTRONG, T.** The coming growth surge in India and the role of low-cost cars. *2008 Global automotive conference*. Maio de 2008, p. 27.
64. **BURSA, M.** *Low-cost cars: opportunities and challenges*. Bromsgrove : Aroq Limited, 2008. p. 38.
65. **MONAGHAN, M.** Tata Nano - The indian automaker intends to overcome the obstacles and deliver on its promise of a \$2500 all-weather, safe family car. *Automotive Engineering International*. Out, 2008, pp. 60-62.
66. **SANTOS, F. B.** *Uma contribuição para a avaliação das novas tecnologias e arquiteturas para o sistema elétrico automotivo*. Escola Politécnica da USP. São Paulo : s.n., 2005. p. 188, Dissertação de mestrado.
67. **ENSSLIN, L., MONTIBELLER, G. e NORONHA, S. M.** *Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Florianópolis: Insular, 2001. Florianópolis : Insular, 2001. p. 296.

68. **DONAIRE, D.** A utilização do estudo de casos como método de pesquisa na área da administração. *Revista IMES*. mai/ago, 1997, Vol. 40, pp. 9-19.
69. **MAYER, E.** Serial bus systems in the automobile, Part 3: Simple and cost-effective data exchange in the automobile with LIN. *Elektronik Automotive*. Feb., 2007.

APÊNDICE A – Sobre os Principais Protocolos de Comunicação Veiculares

Dada a enorme quantidade de tarefas necessárias para o desenvolvimento de um protocolo, a padronização do processo de desenvolvimento de protocolos tornou-se necessária. Estas tarefas foram agrupadas em “camadas de comunicação” para serem mais bem exploradas e desenvolvidas. Cada aplicação existente nos nós da rede utiliza estas camadas para se comunicar, isto é, trocar dados. Esta estrutura de camadas de comunicação foi simplificada pelo uso de um modelo de referência básico para comunicação de dados, encontrado na ISO7498 e é mostrada pela Figura 76 (26).

A ISO7498 organizou esta estrutura hierárquica em sete camadas (*layers*) acomodadas verticalmente. Um grupo de tarefas foi associado a cada camada, onde o nível de abstração aumenta de uma camada a outra. Os dados passam camada por camada, seguindo a seqüência vertical. Na transmissão de um dado, esse fluxo segue do topo à base da estrutura. No caso de uma recepção, ocorre o contrário.

Figura 76 - Modelo de referência para comunicação de dados (ISO7498) (26)

A adoção desta estrutura possibilitou uma maior transparência no fluxo de comunicação, garantindo a execução das tarefas atribuídas a cada camada (em forma de serviços) e também possibilitando a criação de protocolos de comunicação que definem a execução destas tarefas. No total, sete protocolos de comunicação

devem ser definidos para descrever ou programar a comunicação serial em um barramento. Seus nomes e principais atividades estão relacionados a seguir:

Tabela 40 – Síntese das tarefas atribuídas a cada camada de comunicação

Camada	Descrição
Camada de Aplicação	<ul style="list-style-type: none"> • Preparação da multiplicidade de funcionalidades • Desacoplamento da aplicação em relação à comunicação • Responsável por cuidar das informações que chegam pela rede para cada programa de computador que está sendo usado no computador
Camada de Apresentação	<ul style="list-style-type: none"> • Padronização do formato de dados • Compressão, descompressão, criptografia • Responsável por formatar e estruturar os dados de uma forma que eles possam ser entendidos por outra máquina. Ela cuida da criptografia se necessário
Camada de Sessão	<ul style="list-style-type: none"> • Controle de diálogo e definição dos pontos de sincronismo • Reconstrução automática após colapso • Divisão do trem de mensagens para conexões de múltiplo transporte • Cuida das regras de comunicação entre os nós que estão trocando mensagens. Ela verifica quando é possível ou não mandar dados e também sabe que tipo de comunicação os nós possuem (simplex, duplex, semi-duplex).
Camada de Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Cria a conexão entre dois processos • Segmentação, seqüenciamento, montagem e envio • Segurança de correção, definição de parâmetros de qualidade • É responsável por quebrar a mensagem em pacotes menores para que ela seja transmitida. Também é responsável por depois montar os diversos pacotes em uma única mensagem posteriormente
Camada de Rede	<ul style="list-style-type: none"> • Roteamento: Construção de um caminho de transmissão entre dois nós de barramento • Controle de Fluxo: prevenção a falhas • Tratamento de erros • Cuida do estabelecimento de rotas e do chaveamento dos dados ao longo da rede
Camada de Enlace de Dados	<ul style="list-style-type: none"> • MAC (Controle de Acesso Médio): Acesso ao barramento • LLC (Controle do Enlace Lógico): Detecção e tratamento de erros • Endereçamento, geração de trens de mensagens

Camada	Descrição
	<ul style="list-style-type: none"> • É responsável por organizar os dados recebidos, colocando-os na ordem correta, detectando e talvez corrigindo eventuais erros de transmissões
Camada de Física	<ul style="list-style-type: none"> • PLS (Sinalização Física): codificação e temporização de bit • PMA (Meio Físico Anexo): <i>Transceiver</i> • MDI (Meio de Interface Dependente): mídia, conector etc. • É responsável por transferir os bits por meio de ligações. Ela cuida de questões como o tipo de cabo em uso e como é feita a conexão entre o cabo e a máquina

Fonte: (26)

Geralmente, para sistemas de comunicação serial veiculares, a aplicação das tarefas definidas apenas nas duas camadas inferiores já é suficiente (protocolos camada 1 e 2), pois garantem as condições básicas de comunicação e tempo. Para aplicações que necessitem de gerenciamento de rede e funcionalidades de diagnóstico, a utilização de protocolo camada 7 é necessária. Se os blocos de dados a serem transmitidos forem maiores que aqueles definidos na camada de aplicação (camada 7), um protocolo de transporte (camada 4) também é requerido (Figura 77 (26)).

Figura 77 - Protocolos de comunicação associados a cada camada de comunicação (26)

Dos protocolos desenvolvidos sob esta estrutura e elencados no decorrer deste estudo, alguns terão seus detalhes mostrados e comentados neste apêndice:

CAN

Controller Area Network (CAN) é uma rede de comunicação serial que suporta o controle em tempo real mantendo um alto nível de integridade de dados.

O CAN é um protocolo de transmissão baseado no endereçamento de mensagens, identificadas através de um identificador de mensagem – ou ID (o identificador não identifica o nó de destino, mas sim a própria mensagem).

Por esta razão as mensagens são enviadas para todos os módulos (*broadcast*), e serão efetivamente lidas apenas pelos nós que possuam interesse pela informação (sistema de recebimento seletivo). Este sistema trás vantagens como: redução de custo por uso de sensores compartilhados; fácil aplicação e sincronização de processos distribuídos; e grande flexibilidade de configuração.

Isto ocorre porque, com a omissão dos endereços dos nós, torna-se possível integrar outros barramentos e nós sem modificar o hardware ou o software dos nós existentes (porém, isto só é verdade se os nós adicionados forem exclusivamente receptores de mensagens) (31).

A norma que estabelece o CAN se divide em três partes (Figura 78 (31)): ISO11898-1, que define o protocolo de comunicação propriamente dito, o ISO11898-2, que define a camada física do CAN *High-Speed* e o ISO11898-3, que define o CAN *Low-Speed*, ambos descritos com mais detalhes a seguir.

Figura 78 - O CAN visto pela perspectiva do modelo de comunicação estabelecido pela ISO7498, pela sua própria normatização (ISO11898) e pela sua aplicação física (31)

Existem dois formatos de mensagens disponíveis: no CAN 2.0A o identificador possui 11 bits, permitindo a existência de até 2048 diferentes mensagens; já no CAN 2.0B, com identificador de 29 bits, o número de mensagens distintas pode chegar a 547 milhões.

As mensagens transmitidas em uma rede CAN não dependem de uma temporização. Elas dependem da ocorrência de eventos especiais. A princípio, todo nó está autorizado a acessar o barramento imediatamente após o evento ocorrer. Dado ao tamanho relativamente curto no formato padrão (até 130 bits) e sua alta velocidade (até 1 Mbit/s), este método permite reações rápidas para eventos assíncronos. É uma pré-condição importante para transmissões em tempo real, da ordem de milissegundos (1 a 10 ms), requisito básico para aplicações em chassis e *powertrain*.

Como isso significa também maior chance de colisão de dados no momento do acesso ao barramento, o CAN possui mecanismos de arbitragem e prioridade no próprio identificador, baseado no método CSMA/CA (Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance) (Figura 79 (27)).

Neste método, o nó que pretende enviar uma mensagem, primeiro identifica se existe alguma atividade no barramento. Caso o barramento esteja sendo usado, o nó aguarda o final da transmissão e, somente após passar o tempo de transmissão de três bits (chamado *ITM intermission*), inicia a transmissão de sua mensagem (mecanismo *Carrier Sense* – CS).

Figura 79 - Comunicação em uma rede CAN (27)

Além disso, em cada identificador é definida sua identidade e prioridade, que é única dentro da rede – detalhe de suma importância quando diversos nós estão disputando o acesso ao barramento (28) – onde o identificador com o menor número binário tem a maior prioridade (0 é dominante).

Para evitar a colisão de dois ou mais nós quando estes querem acessar o barramento simultaneamente (*Multiple Access / Collision Avoidance – MA/CA*), existe a arbitragem bit-a-bit por lógica binária do tipo E-barrada (arbitragem bit a bit não destrutiva (30)), pelo qual o estado dominante sobrescreve o estado recessivo. Nele, os nós enviam o ID de sua mensagem bit a bit no barramento, do mais significativo para o menos significativo.

Após colocar um bit na rede, cada nó compara o nível do barramento com o bit que foi por ele colocado. Sendo diferente, o nó interrompe a transmissão. Passada a fase de identificação dos bits de ID, o nó dominante (isto é, com o ID de valor mais baixo), prossegue com a transmissão do resto da mensagem.

Portanto todos os nós com transmissão recessiva e observação dominante perdem a disputa pelo acesso ao barramento. Eles se tornam automaticamente receptores da mensagem e não tentarão retransmitir suas mensagens até que o barramento esteja disponível novamente (Figura 80 (31)).

Figura 80 - Exemplo de arbitragem bit-a-bit por lógica tipo E num barramento CAN (31)

Conforme Mayer (27), a arbitragem elimina os problemas de colisão no acesso à rede, porém cria o problema de atraso no envio. Ainda que baixa, esta latência prejudica principalmente as mensagens de baixa prioridade e, dependendo da velocidade do barramento e sua ocupação, pode inclusive inviabilizar a comunicação em tempo real.

A figura a seguir mostra a estrutura de um frame de mensagem CAN:

Figura 81 - Estrutura de um *frame* de dados do protocolo CAN (31)

O primeiro bit é o SOF (*Start of Frame*), que indica o início do *frame*, além de ter o papel de sincronizador (uma vez que a rede CAN não possui *clock* de sincronismo);

Em seguida vem o identificador da mensagem (de 11 ou 29 bits); o bit de RTR (*Remote Transmission Request*) que identifica o tipo do frame (de dados ou de requisição de dados); o bit IDE (*Identifier Extension*) que indica qual o formato do identificador (11 ou 29 bits); os quatro bits do DLC (*Data Length Code*) que indicam o número exato de bytes úteis de dados no frame, que podem ser de zero a oito (26).

O CAN oferece também uma extraordinária segurança na transmissão. Grande parte deste mérito deve-se à própria transmissão por diferença de sinal, mas também pelos mecanismos de detecção de erro, como: monitoramento de bit (regras de *bit stuffing*) – o qual, a cada cinco bits de mesmo valor, adiciona um bit de valor oposto; checagem de formato; checagem de redundância cíclica (CRC) – sequência de 15 bits (mais um bit delimitador) obtidos através de um gerador polinomial, tendo como base de cálculo todos os bits a serem transmitidos pelo *frame*.

Figura 82 - Formato do sinal elétrico em uma rede CAN (26)

Finalizando o frame seguem o bit de ACK (*acknowledge*), que indica o correto recebimento do frame pelos nós receptores e seu bit delimitador e, finalmente, os sete bits recessivos de fim de frame (EOF).

Toda esta proteção faz com que a probabilidade de uma mensagem CAN corrompida não ser detectada seja de $4,7 \cdot 10^{-11}$ (31).

Assim que um erro é encontrado, o nó que o detectou interrompe a transmissão da mensagem enviando uma mensagem de erro na rede (seis bits dominantes seguidos), violando propositalmente a regra de *bit-stuffing*, fazendo com que o nó transmissor da mensagem com erro reenvie a mensagem.

Considerando-se a interface (ou camada) física do protocolo, existem três opções do CAN, bastante difundidas no mercado (28):

- *Hi-Speed CAN*: a interface física desta rede (Figura 83 (26)) é definida pelas normas ISO11898-2 e SAE J2284. Ela é formada por dois fios trançados (CAN_L e CAN_H), que aumenta sua imunidade a ruídos, e com terminadores resistivos nas duas extremidades da rede, para supressão de reflexões causadas pela impedância característica da linha (31), sendo esta configuração física também compatível com outros protocolos baseados em lógica dominante/recessiva.

Figura 83 - Rede High-Speed CAN (26)

A principal característica deste barramento é sua taxa de transmissão de alta velocidade, podendo chegar a até 1 Mbit/s – ainda que, devido ao alto custo da blindagem de seus cabos, a velocidade comumente encontrada em suas aplicações não ultrapassem os 500 kbit/s (11).

- *Fault-Tolerant CAN* (ou *middle-speed CAN*): é uma variante de camada física cuja velocidade de transmissão é limitada a 125 kbit/s e usualmente empregada em aplicações de carroceria. Tolerância à falha (*fault tolerance*) é a habilidade de um sistema ou componente de continuar em operação normal mesmo quando existe uma falha de *hardware* ou *software* no sistema.

Um *transceiver* CAN tolerante a falha pode continuar comunicando mesmo quando um dos fios apresenta uma falha, isto é: quando um dos fios do barramento (CAN_H ou CAN_L) está interrompido (aberto), quando ocorre um curto entre um dos fios (CAN_H ou CAN_L) e a alimentação (12 V), quando ocorre um curto entre um dos fios (CAN_H ou CAN_L) e o terra (GND), ou ainda quando ocorre um curto-circuito entre os dois fios, CAN_H e CAN_L.

As normas que regulamentam este tipo de variante são a ISO11992, específica para caminhões e trailers (cuja característica principal é o grande diferença de tensão no barramento) e a ISO11898-3 (em substituição à ISO11519-2), que especifica modos de baixo consumo de energia e procedimentos de desligamento (*sleep*) e religamento (*wake-up*) do barramento. Algumas montadoras europeias utilizam sistemas multiplex baseados em CAN e tolerantes à falha (compatíveis com a norma ISO11898-3) para o controle de sistemas de porta, teto, iluminação e bancos elétricos (28).

- *Single-Wire CAN* (ou *low-speed CAN*): ou SAE J2411 (ou ISO11898-3), o SWCAN estabelece os requisitos físicos para a comunicação em baixa velocidade utilizando apenas um fio e possuindo também procedimentos de *sleep/wake-up*. SWCAN é utilizado em sistemas de conforto, como de controle de climatização, travas elétricas de portas, painel de instrumentos, bancos elétricos e diversos outros sistemas que não possuam funções críticas em tempo real.

Este tipo de CAN possui três modos operacionais: com duas velocidades distintas – modo normal (33,3 kbit/s e até 32 nós) e modo de alta velocidade (83.3 kbit/s) – e um modo de economia de energia (*energy-saving sleep mode*), no qual os nós entram em estado de hibernação até serem novamente acordados (*wake-up*) por uma mensagem CAN em alta tensão (11).

J1850

SAE J1850 é um protocolo de média velocidade (Classe B) de arquitetura aberta, com topologia de barramento de apenas um nível, utilizando mensagens assíncronas multiplexadas. Permite a utilização de barramentos de um ou dois fios, dois tipos de codificação (PWM – *pulse-width modulation* ou PWM variável) e utiliza o CRC ou o *checksum* para detecção de erro, dependendo do formato da mensagem e técnica de modulação escolhida. Este protocolo compreende as duas camadas inferiores do padrão OSI (*Open System Interconnect*): a camada física (*physical layer*) e o enlace de dados (*data link layer*). É um sistema multimestre, que utiliza o conceito CSMA/CR (também utilizado pelo CAN), onde qualquer nó pode iniciar sua transmissão desde que seja detectado que o barramento está disponível. A arbitragem não-destrutiva é utilizada para evitar que dois nós iniciem uma transmissão simultaneamente.

Permite ainda duas taxas de transmissão. A versão utilizada pela Ford, de dois fios, tem taxa de transmissão de 41,7 kbit/s, utilizando modulação PWM convencional. Já a versão adotada pela GM (conhecida como Class2) utiliza barramento de um fio, transmitindo a 10,4 kbit/s e utilizando o PWM variável.

A mensagem do J1850, ou *frame*, consiste de um delimitador de início de frame (SOF), um *header* de 1 a 3 bytes, seqüência de dados de 0 a 8 bytes, um byte de *check* de consistência (do tipo *checksum* ou CRC), um delimitador de final de dados

(EOD), opcionalmente um byte de resposta de frame seguido por um delimitador de final de *frame* (EOF).

Este protocolo foi adotado como padrão nos Estados Unidos, porém as três grandes fabricantes (GM, Ford e Chrysler) nunca chegaram a um acordo de padronização. Isto causou a impossibilidade de reutilização de componentes entre elas, o que também causou um custo maior no desenvolvimento destes componentes (32).

Bastante utilizado nos anos 90 no controle de subsistemas de carroceria, gerenciamento de motor, transmissão e ABS, este protocolo encontra-se hoje praticamente extinto, sendo substituído pelo CAN nas aplicações automotivas, amplamente adotado no mercado europeu. Os motivos que levaram a esta migração foram: aumento dos requisitos e funcionalidades nas novas arquiteturas; aumento de funções críticas; busca por soluções de rede com melhor custo/benefício e maior flexibilidade (29).

LIN

O LIN ou *Local Interconnect Network*: é um protocolo serial multiplexado de baixa velocidade (de 1 a 20 kbit/s), tipo mestre-escravo, determinística e *time-triggered*.

O LIN *Consortium* não se limitou apenas ao desenvolvimento do protocolo de comunicação. As normas do LIN incluem ainda as especificações do protocolo de transmissão, do meio de transmissão, da interface entre as ferramentas de desenvolvimento e das interfaces da programação do software.

Foi criada também uma metodologia de desenvolvimento (LIN *Work Flow*), mostrada pela Figura 84 (69), e definição da rede LIN (LIN *Cluster*). A base desta metodologia foi a utilização de dois formatos de troca de dados.

O primeiro, LDF (LIN *Description File*), define as propriedades da rede, em particular das inter-relações de comunicação entre os nós, além de fornecer as informações necessárias para ferramentas de análise, medidas, testes e emuladores.

Já o NCF (*Node Capability File*) descreve as características de desempenho dos nós LIN escravos, incluindo definições de *frame* e sinais, taxas de transferência e diagnóstico.

Figura 84 - LIN Work Flow: organização da metodologia LIN (69)

Esta configuração permite a criação de módulos padronizados (como no caso de um motor de passo) que podem ser utilizados diversas vezes numa rede ou em aplicações distintas (69).

No LIN, a comunicação é baseada no uso de UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*), e dispensa a utilização de cristais ou controladores de comunicação (os nós se auto-sincronizam no início da transmissão de cada mensagem).

Como não possui transmissão diferencial de sinais (delta de tensão) como no CAN, o LIN utiliza como referência os valores de tensão de alimentação e terra para supressão de ruídos na comunicação. Assim, para valores menores de 40% do valor da tensão de alimentação, o *transceiver* LIN o interpreta como sendo um sinal lógico “0” e, para valores acima de 60%, como valor lógico “1” (Figura 85 (27)).

Figura 85 - Comunicação em uma rede LIN (27)

Baseada numa bem definida tabela de tempo de envio de mensagens, o nó mestre controla toda a comunicação do barramento (ao contrário do CAN), cuja camada física é formada por uma rede de fio único.

Para que os nós escravos entendam que a transmissão de um frame começou, o nó mestre envia primeiramente um sinal de início (chamado *Sync Break*) formado por 13 bits dominantes consecutivos.

A identificação da mensagem é feita por um ID de seis bits, seguidos por mais dois bits de paridade, formando o PID (*Protected Identifier*). Quando o módulo correspondente recebe o sinal, este responde com uma mensagem formada pelo *header*, seguido por até oito bytes de dados.

Como o identificador é formado por seis bits, este protocolo permite a criação de até 64 mensagens distintas. Os 60 primeiros ID's estão disponíveis para comunicação de dados, sendo os quatro últimos reservados para diagnóstico.

A integridade dos dados é verificada através de bits de paridade no *header* e um *checksum* transmitido na mensagem de resposta (Figura 86 (69)).

Figura 86 - Composição de um frame LIN: cada um deles (69)

Os frames LIN são formados por um frame-header e um frame-resposta. O frame-header é sempre enviado pelo LIN Mestre. O frame-resposta pode ser enviado por um LIN Escravo ou pelo próprio LIN Mestre. Existem três tipos de frames: esporádicos, acionados por evento (event triggered) e de diagnóstico.

No LIN existem também as funções de gerenciamento de status e gerenciamento da rede. No gerenciamento de status, cada nó escravo deve informar ao mestre se foi detectado algum erro na sua transmissão.

No gerenciamento de rede, sua principal atividade é de regular a transição dos nós escravos entre os estados de comunicação existentes: Comunicação normal (Operacional) e hibernação (Sleep mode), vistos na Figura 87 (69).

Figura 87 - Estados de comunicação de um LIN escravo (69)

Se os módulos escravos não detectarem nenhuma atividade no barramento durante quatro segundos, eles entram automaticamente no modo de hibernação. Da mesma forma, quando detectam um sinal de *wake-up* (pulso dominante com duração de 250 μ s a 5 ms) seguido por um *header* válido, vindo de qualquer outro módulo, os módulos voltam ao estado operacional.

MOST

O MOST provê mecanismos de transporte de grandes volumes de dados de streaming multimídia. Aplicações típicas são transmissões de áudio de alta qualidade, sistemas de navegação, de computação pessoal, internet e outros sistemas de *infotainment* para veículos automotivos (27).

Uma rede MOST em anel pode incluir até 64 dispositivos. Um deles desempenha o papel de mestre ("*timing master*"), que garante que os frames de mensagens sejam transmitidos ciclicamente de nó a nó e que os nós escravos ("*timing slaves*") sejam sincronizados. A ciclicidade destas transmissões geralmente corresponde às frequências de amostragem do CD (44,1 kHz) e do DVD (48 kHz).

No total, a largura de banda disponível para *streaming* de dados (transmissão síncrona de dados) e pacotes de dados (transmissão assíncrona de dados) é de aproximadamente 23 Mbit/s a 48 kHz. Isto é subdividido em 60 canais físicos, os quais o usuário pode selecionar e configurar (27).

O MOST dispõe de numerosos serviços e mecanismos para a alocação destes canais físicos. O MOST suporta até 15 canais descompactados de áudio com qualidade de CD e até 15 canais de transmissão de áudio e vídeo no formato MPEG1 – porém isto significa que ainda não é possível transmitir streamings de vídeos em alta resolução e descompactados nesta rede.

Esta rede ainda dispõe de canais para a transmissão de mensagens de controle com banda total de 768 kbit/s – isto significa que quase 300 mensagens de controle podem ser transmitidas por segundo. Estas mensagens podem ser utilizadas para a configuração dos dispositivos MOST, assim como para transmissão de dados de forma síncrona ou assíncrona. Através da combinação destes canais, podem-se transmitir, de forma assíncrona, pacotes de dados de até 1024 bits.

Figura 88 - Princípio do streaming de dados no MOST (27)

O frame do MOST, portanto, é formado pelos 60 canais de comunicação com 8 bits cada, mais o canal de controle, de 16 bits (33).

Figura 89 - Transmissão de um frame MOST (27)

O MOST é dividido em dois níveis: funcional e de rede. No nível funcional se encontram os blocos de função que descrevem as interfaces das aplicações, possibilitando assim a interoperabilidade destes dispositivos, como a função *Audio Disk Player*, por exemplo (33).

Os sistemas MOST são organizados numa estrutura hierárquica de três níveis: HMI (interface homem-máquina), sistemas controladores (cobrindo a parte de funcionalidade) e sistemas escravos (com as funções que são compartilhadas por mais de um controlador), vistas na Figura 90 (33).

Figura 90 - Hierarquia de um sistema MOST (33)

Recentemente foi desenvolvido o MOST50, utilizando rede de dois fios (par trançado) com o dobro da largura de banda da versão original e também uma versão com a banda três vezes maior, o MOST150.

FlexRay

É um sistema de barramento destinado às aplicações automotivas que exijam sistemas de comunicação determinísticos de alta velocidade, tolerante à falha e com capacidade de suportar sistemas avançados de controle distribuído, como o caso dos sistemas *x-by-wire*.

Quando à camada física, uma rede FlexRay pode ser óptica ou elétrica. Dentre suas características, vale ressaltar: transmissão de dados dinâmicos e estáticos (escalonável); taxas de transmissão de até 20 Mbit/s (dois canais de 10 Mbit/s cada, escalonáveis em 2.5, 5 e 10 Mbit/s por canal) com possibilidade de configuração redundante; e serviços *time-triggered* (com disparo por tempo) implementados no hardware e base de tempo global.

Sua capacidade de comunicação em tempo real é garantida por um fluxo de tempo precisamente definido. Toda a comunicação é organizada em ciclos de comunicação. Por sua vez, estes são subdivididos em segmentos de comunicação estática e dinâmica (Figura 91 (27; 34)).

Figura 91 - Comunicação em uma rede FlexRay (27; 34)

Os segmentos de comunicação estática transmitem sincronamente os dados via TDMA (*Time Division Multiple Access*) em janelas de tempo pré-definidas (*static slots*), garantindo o comportamento determinístico da rede – desta forma, mensagens de tempo real relevantes são preferencialmente transmitida em segmentos estáticos.

Já os segmentos de comunicação dinâmica permitem transmissões de dados do tipo *event-triggered* (com disparo por evento), onde mini-janelas de tempo (*mini-slotting procedures*) evitam possíveis colisões.

Figura 92 - Exemplo de fluxo de comunicação num segmento dinâmico (34)

Por esta razão, o pode FlexRay definir o formato e a funcionalidade do processo de comunicação dentro da rede automotiva. Dependendo da aplicação, a periodicidade de comunicação pode ser puramente estática, puramente dinâmica, ou um mix entre elas. Monitores de barramento garantem que os nós da rede só transmitam nas janelas de tempo permitidas. A integridade das mensagens é garantida por aplicações CRC multi-nível no header e no final da área de dados, chamado *payload* (Figura 93 (34)).

Figura 93 - Estrutura de um frame FlexRay (34)

O sincronismo ao longo da rede é garantido por um mecanismo de sincronização de *clock* distribuído e tolerante a falha: todos os módulos FlexRay se corrigem continuamente pelo início da transmissão de mensagens regulares síncronas (*offset correction*) como também pela duração dos ciclos de comunicação (*slope correction*) (34). Nos frames existem ainda os seguimentos NIT (network idle time) e “Symbol Window” que checam a funcionalidade do “Guardião de Barramento” (mecanismo independente que garante o acesso dos nós nos tempos certos) e do fator de correção do *offset* de transmissão (Figura 94 (34)).

Figura 94 - Sincronização dos nós FlexRay (34)

A flexibilidade desta rede também é observada na integração do sistema: como é uma comunicação controlada por tempo, a adição ou retirada de um nó da rede não afeta seu comportamento temporal.

TTP

O *Time-Triggered Protocol* foi desenvolvido para utilização em sistemas distribuídos de tempo real e tolerante à falha.

O TTP suporta tanto comunicação de dados baseada em eventos como em tempo real, além de permitir acesso remoto e estratégias avançadas de diagnóstico.

Um barramento de acesso por múltipla divisão de tempo é o princípio funcional do TTP. Um algoritmo distribuído estabelece a base de tempo global com um pulso de sincronização. Isso integra tanto serviços como prevê a transmissão de mensagens, sincronização dos relógios internos, mudanças de modos.

O TTP também suporta nós replicados e canais de comunicação redundantes.

No TTP, todos os nós comunicam na base de tempo especificada, evitando assim colisões. Também se comunicam via redes redundantes. A precisão do intervalo de tempo pode chegar a microssegundos.

Como complemento ao TTP, a *Time-Triggered Architecture* (TTA) provê a infraestrutura computacional para o desenvolvimento e implementação de sistemas distribuídos. Grandes aplicações em tempo real são decompostas em células e nós autônomos (28).

	Option Name	Total	U.S.	Austr.	Japan		Africa		Israel	Mid-East	Russ.	Europe Group	
	CERTIFICATION - EMISSION. CALIFORNIA	11.4%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	EMISSION SYSTEM - FEDERAL. TIER 2	69.0%	76%	0%	0%	0%	66%	55%	0%	90%	100%	0%	0%
	EMISSION SYSTEM - CALIFORNIA. LEV2	2.3%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	EMISSION SYSTEM - CALIFORNIA. BIN 4	16.0%	21%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	EMISSION SYSTEM - JAPAN	0.3%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	EMISSION SYSTEM - EEC 05	11.6%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	100%
	EMISSION SYSTEM - EEC 00	0.9%	0%	0%	0%	0%	34%	45%	0%	10%	0%	0%	0%
	CERTIFICATION - EMISSION. EXPORTED VEHICLE	12.5%	0%	100%	0%	0%	34%	45%	100%	10%	0%	100%	100%
	TEST - DVT. EVAP EMISSION REQUIREMENT	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
15.02 Powertrain Driver Interface													
	CRUISE CONTROL - AUTOMATIC. ELECTRONIC	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
15.04 Driveline													
	AXLE - FRT ELECTRONIC LOCKING DIFFERENTIAL. DRIVER SELECT	29.1%	30%	25%	15%	15%	60%	25%	40%	20%	30%	25%	25%
	AXLE - RR ELECTRONIC LOCKING DIFFERENTIAL. DRIVER SELECT	29.1%	30%	25%	15%	15%	60%	25%	40%	20%	30%	25%	25%
15.05 Fuel Storage & Handling													
	LOCK CONTROL - FUEL FILLER CAP	19.1%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%
20.01 Steering													
	FRT STEERING - RACK & PINION	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	STEERING - POWER. NON-VARIABLE RATIO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	STEERING COLUMN - TILT TYPE	80.9%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
	STEERING COLUMN - EEC APPROVED	19.1%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%
20.04 Brake													
	CONTROL - ACTIVE BRAKE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	BRAKE - LIGHT WEIGHT. DISC/DISC	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	PARK BRAKE - LHD FOOT APPLY	93.9%	100%	0%	0%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	100%
	PARK BRAKE - RHD HAND APPLY	6.1%	0%	100%	100%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
	ANTILOCK BRAKE(ABS) -	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	TRACTION CONTROL -	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
30.02 Front Interior HVAC Airflow													
	HVAC SYSTEM - AIR CONDITIONER FRT. MAN CONTROLS	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
30.03 Rear Interior HVAC Airflow													
	RR WINDOW - ELECTRIC	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
40.01 Instrument Pnl & Console & Steering Whl													

OPTION NAME	Total	U.S.	Austr.	Japan		Africa		Israel	Mid-East	Russ.	Europe Group	
ASHTRAY - CIGARETTE LIGHTER	7.3%	0%	1%	1%	1%	100%	1%	1%	100%	0%	1%	1%
40.02 Seats												
ADJUSTER FRT ST - POWER. MULTI-DIRECTIONAL. DRIVER	89.2%	90%	95%	90%	90%	79%	90%	95%	90%	75%	93%	90%
ADJUSTER PASS ST - POWER. MULTI-DIRECTIONAL	66.4%	65%	90%	60%	60%	70%	90%	40%	60%	45%	90%	90%
HEATER - SEAT. FRT	83.2%	85%	90%	60%	60%	70%	90%	40%	60%	45%	90%	90%
40.04 Interior Lighting												
PASS COMPT LIGHTING -	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
40.07 Air Bag												
AIR BAG SUPPRESSION -	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
AIR BAGS - DRIVER & FRT OUTBOARD PASSENGER AIR BAG MODULES	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
RESTRAINT - ROOF SIDE. LH & RH. INFLATABLE	92.8%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	100%
55.00 Body Closures												
WINDOW - POWER OPERATED. ALL DOORS	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
55.01 Side Closures												
LOCK CONTROL - SIDE DR. ELEC	93.9%	100%	0%	0%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	100%
LOCK CONTROL - SIDE DR.ELEC.RIGHT DOOR	6.1%	0%	100%	100%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
55.04 Rearview Mirrors												
MIRROR I/S R/V - LT SENSITIVE. COMPASS. O/S TEMP DISPLAY	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
MIRROR O/S - LH & RH. REMOTE CONTROL. ELECTRIC. DUAL FOLDING. COLOR	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
60.05 Front Lamp												
FRT LAMPS - HEADLAMP SYSTEM	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
FRT LAMPS - FRONT CORNERING	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
LAMP SYSTEM - DAYTIME RUNNING	80.3%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HEADLAMPS - RH RULE OF THE ROAD. E MARK	12.8%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	0%	0%	100%
HEADLAMPS - LH RULE OF THE ROAD. E MARK	6.2%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
HEADLAMPS CONTROL - LEVELING SYSTEM. MANUAL	19.1%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%
LAMP - FRT FOG. FMVSS	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
LAMP - OFF ROAD (ROOF MOUNTED)	2.7%	0%	10%	0%	0%	0%	1%	0%	37%	2%	0%	0%
LAMP - MARKER (ROOF MOUNTED)	4.1%	0%	1%	0%	0%	0%	25%	50%	57%	5%	0%	0%
LAMP - RADIATOR GRILLE GUARD. OFF-ROAD	0.1%	0%	1%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	2%	0%	0%
60.06 Rear Lamp												
LAMP - FOG. RR	8.3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	100%

	Option Name	Total	U.S.	Austr.	Japan		Africa		Israel	Mid-East	Russ.	Europe Group	
	LAMP - TAIL & STOP. EXPORT	19.1%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%
	CHMSL - MOUNTED TO BACK GLASS	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	REAR LAMPS - TAILLAMP SYSTEM	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
60.08 Wiper & Washer													
	WIPER SYSTEM - RR WINDOW. CONTINUOUS	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	FRT WIPER & WASHER - BUG EYE	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
70.01 Driver Information													
	MPH PREDOMINATE -	76.0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	SPEEDOMETER - INST. KILO & MILES. KILO ODOMETER	7.7%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
	SPEEDOMETER - INST. KILO & MILES. KILO ODOMETER. POSITIVE BIAS	13.9%	0%	0%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	0%	5%	100%
	SPEEDOMETER - INST. MILES & KILO. MILES ODOMETER. RHD	1.8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	95%	0%
	CAMERA - FRONT VIEW	0.3%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	CAMERA - REAR VIEW	29.9%	30%	30%	0%	0%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
	INDICATOR - LOW TIRE PRESSURE	80.9%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
	CLUSTER / DISPLAYS -	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
70.02 Customer Switch													
	CUSTOMER SWITCHES -	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
70.03 Infotainment													
	RADIO - AM/FM STEREO. SEEK/SCAN. RDS. MULTIPLE COMPACT DISC. AUTO TONE CONTROL. CLOCK. ETR.	48.5%	48%	55%	40%	40%	55%	55%	55%	55%	35%	40%	40%
	RADIO - AM/FM STEREO. SEEK/SCAN. CD. ETR. NAVIGATION. CLOCK	14.7%	18%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%
	RADIO - AM/FM STEREO. SEEK/SCAN. CD. AUTO TONE. DATA SYSTEM. CLOCK. ETR	32.6%	34%	45%	10%	10%	45%	45%	45%	35%	65%	5%	5%
	SPEAKER SYSTEM - ENHANCED AUDIO	32.6%	34%	45%	10%	10%	45%	45%	45%	35%	65%	5%	5%
	SPEAKER SYSTEM - PREMIUM AUDIO BRANDED WITH AMPLIFIER	67.4%	66%	55%	90%	90%	55%	55%	55%	65%	35%	95%	95%
	DIGITAL AUDIO SYSTEM - S-BAND	75.8%	99%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	FREQUENCIES - AUSTRALIA / NEW ZEALAND	3.3%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	FREQUENCIES - EUROPEAN	8.3%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	100%
	FREQUENCIES - JAPANESE	0.3%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	FREQUENCIES - SAUDI ARABIAN	7.8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	0%	0%
70.04 Antenna													
	ANTENNAS - MAST	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
70.05 Telematics													

OPTION NAME	Total	U.S.	Austr.	Japan		Africa		Israel	Mid-East	Russ.	Europe Group	
COMMUNICATION SYSTEM - VEHICLE. G.P.S. 1	78.9%	99%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
WIRELESS INTERFACE - SHORT RANGE. VOICE REC	51.8%	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
OPENER - GARAGE DOOR. UNIVERSAL	59.4%	75%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	45%	0%	0%
80.01 Safety & Avoidance												
AIR BAG SENSING - & DIAGNOSTICS MODULES	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
OCCUPANT DETECTION -	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
ROLLOVER SENSOR -	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
80.02 Vehicle Access & Starting Security												
CONT THEFT DETERRENT -	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
VEH THEFT DETERRENT - PASSLOCK	76.6%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
THEFT DETERRENT SYS - EXPORT SPECIFIC	19.1%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%
EQUIPMENT - SECURITY SYSTEM. IMMOBILIZATION	22.8%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%
LOCK CONTROL - RHD DRIVER DOOR LOCK	6.1%	0%	100%	100%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
LOCK CONTROL. ENTRY - REMOTE ENTRY	87.4%	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%	100%	0%	0%
LOCK CONTROL. ENTRY - REMOTE ENTRY. LOW POWER	0.3%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LOCK CONTROL. ENTRY - REMOTE ENTRY. SPECIFIC FREQUENCY	12.3%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	100%	0%	0%	100%	100%
80.03 Body Interior & Exterior												
HORN - SINGLE	80.9%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
HORN - DUAL	19.1%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%
ALARM - VEHICLE SPEED. 120 K/H	6.4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%
80.04 Charging & Energy Storage												
GENERATOR - 125 AMP	60.8%	67%	40%	87%	80%	43%	50%	45%	43%	100%	30%	15%
GENERATOR - 145 AMP	31.0%	33%	9%	13%	20%	23%	5%	15%	47%	0%	11%	12%
GENERATOR - 160 AMP	8.1%	0%	51%	0%	0%	34%	45%	40%	10%	0%	59%	73%
BATTERY/GASOLINE - 590 CCA. 9 INCH	80.9%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
80.06 Power & Signal Distribution												
PWR & SIGNAL DISTRIB - #1 - POWER OUTLETS	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
WIRING HARNESS - TRUCK TRAILER. HD	63.8%	80%	0%	5%	5%	0%	0%	0%	5%	50%	0%	0%
WIRING HARNESS - 13 PIN SOCKET. TRAILER	0.4%	0%	0%	0%	0%	5%	5%	0%	0%	0%	5%	5%

APÊNDICE C – Exemplo de Detalhamento de Arquitetura

Exemplo de detalhamento da arquitetura elétrica do compartimento do motor de um veículo médio.