

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

CLEBER WILLIAN GOMES

**DIAGNOSE DE MOTORES DIESEL POR MEIO DE REDES
BAYESIANAS**

**SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP
2008**

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

CLEBER WILLIAN GOMES

**DIAGNOSE DE MOTORES DIESEL POR MEIO DE REDES
BAYESIANAS**

Dissertação apresentada ao Centro Universitário da
FEI como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Engenharia na área de
Inteligência Artificial.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos

**SÃO BERNARDO DO CAMPO
2008**

GOMES, Cleber Willian
DIAGNOSE DE MOTORES DIESEL POR MEIO DE
REDES BAYESIANAS / Cleber Willian Gomes
São Bernardo do Campo, Centro Universitário da FEI 2008.

130: p.

Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica – Centro
Universitário da FEI, 2008.

1. Pesquisa Científica 2. Método Científico 3. Título.

CDU 001.8.

CLEBER WILLIAN GOMES

**DIAGNOSE DE MOTORES DIESEL POR MEIO DE REDES
BAYESIANAS**

**Dissertação de Mestrado
Centro Universitário da FEI
Departamento de Engenharia Elétrica**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos (Orientador) – FEI

Prof. Dr. Fabio Gagliardi Cozman – USP

Prof. Dr. Agenor de Toledo Fleury – FEI

**SÃO BERNARDO DO CAMPO
2008**

Dedico este trabalho à Deus, nossas famílias, minha esposa e amigos que me incentivaram a finalizar este desafio.

AGRADECIMENTOS

Quando buscamos atingir um novo degrau de conhecimento, sabemos que quem nos apoiou nos desafios anteriores também fazem parte dos bons frutos colhidos no presente e por este motivo agradeço a todos que de alguma forma me ensinaram e apoiaram até este momento.

Agradeço à DEUS e a toda minha família como um todo: Minha esposa companheira e incentivadora **Carla Renata Delbue**, à meus pais que me ensinaram a virtude da ética e da luta **Marília Papa Gomes e João Nelson**, meus sogros que me acolheram como filho **Guiomar Alves Delbue e Anízio Delbue**, aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados que amo muito **Mauricio Gomes, Gabriela Roberta Gomes, Victor Roggerio Gomes, Anízio Delbue Junior, Elisangela Kelher Delbue de Oliveira, Cintia Cristina Delbue, Marcelo Garbim, Marcelo de Oliveira, Lucas Delbue de Oliveira, Gabriela Delbue Garbim e Luiz Henrique Delbue de Oliveira** por todo apoio. Em memória, a minha avó **Izabel Maria Lopes Papa** que me inspirou a lutar pelos meus sonhos e também a meu filho que ainda está no ventre da minha esposa, **Matheus Delbue Gomes**.

Ao meu grande orientador e amigo, Professor **Dr. Paulo Eduardo Santos**, por acreditar que nos poderíamos realizar este desafio, por sua ética e profissionalismo, pela paciência, pelos ensinamentos, conselhos e inúmeras correções que contribuíram muito neste trabalho. Aos professores **Flávio Tonidandel, Carlos Eduardo Thomaz e Reinaldo Bianchi** pelos valiosos ensinamentos transmitidos. Aos amigos do mestrado e agora irmãos **Adriane Colossetti, Alexandre Imperatore, Emerson Abrahan e Nelson Aguiar** pelos conhecimentos compartilhados durante os estudos nos finais de semana; a todas as empresas em que trabalhei, em especial a **MSX International** e a **Ford Motor Company** e a todos meus colegas de trabalho que me apoiaram. Se fosse listar todos quem me ajudaram neste trabalho a lista não iria caber em poucas folhas ou poderia ser injusto e esquecer de incluir alguém. Agradeço também ao diretor da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie Professor Dr. Marcel Mendes pelo incentivo e por acreditar em mim.

Aos membros da banca, **Prof. Dr. Fabio Gagliardi Cozman e Prof. Dr. Agenor de Toledo Fleury**, que contribuíram muito com críticas e sugestões enriquecedoras para este trabalho. Agradeço também à Adriana da secretaria do mestrado e a todos que colaboraram diretamente e indiretamente para que este trabalho fosse concluído.

“Quem conduz e arrasta o mundo não são as máquinas, mas as idéias”

Victor Hugo

RESUMO

Propomos um método analítico de diagnose de falhas para motores Diesel. Este método auxilia o usuário final na resolução de problemas do veículo utilizando a detecção de falhas e permite à Engenharia de Produto a oportunidade de se atualizar diretamente com os resultados das falhas de campo detectadas pelo sistema de diagnose. A habilidade de detectar falha por meio deste método é baseada no índice de falhas do componente no campo, na sua quilometragem acumulada e nos sintomas de falha do motor que podem ser percebidos, tais como: vazamentos, ruídos, fumaça, entre outros. Este método é desenvolvido utilizando cálculo estatístico de probabilidades através de redes Bayesianas, além da aplicação do conhecimento de especialistas da área de qualidade, motores diesel, Inteligência Artificial e diagnóstico veicular.

Palavras chave: Rede Bayesiana. Motor Diesel. Diagnóstico veicular.

ABSTRACT

We propose a new analytical method of failure diagnosis for diesel engines. This method is able to help the end user to solve problems in the vehicle using failure detection, and it gives Product Engineering the opportunity to update DFMEA directly by field failure results detected by the system diagnosis. The ability to detect failures by this method is based on the component failure rate in the field, its mileage and symptoms of the engine failure that may be perceived such as leaks, noise and smoke, among others. This method is developed using probabilistic reasoning through Bayesian networks, applying the expert knowledge in the field of quality, diesel engines, Artificial intelligence and vehicle diagnostics.

Key words: Bayes Net. Diesel engine. Vehicle diagnostic.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	TEMAS RELACIONADOS AO TRABALHO.....	21
2.1	Evolução tecnológica dos motores Diesel.....	21
2.2	Evolução Tecnológica Versus Capacitação Técnica.....	22
2.3	Sistemas Especialistas	24
2.4	Sistemas especialistas aplicados ao diagnóstico veicular.....	25
	2.4.1 Sistemas eletrônicos de leitura do código de falhas “On-Board	
	Diagnose - OBD”	25
	2.4.2 Sistemas eletrônicos de leitura do código de falhas “Off-Board”	26
	2.4.3 Sistemas analíticos disponibilizados principalmente em manuais	
	técnicos de manutenção.....	30
2.5	Redes Bayesianas	30
2.6	Modelo Noisy-Or	33
3	REDES BAYESIANAS PARA O DIAGNÓSTICO VEICULAR (RBDV).....	35
3.1	Método proposto	35
3.2	REDE BAYESIANA CONSTRUÍDA POR MEIO DO PROGRAMA JAVABAYES	39
3.3	Dados a priori.....	44
	3.3.1 Dados a priori: nó “R/1000”.....	44
	3.3.2 Dados a priori: nó quilometragem da peça	45
	3.3.3 Dados a priori: nó diagnóstico preliminar.....	48
3.4	A utilização do conceito	48
3.5	Planilha de correlação entre as observações e os sistemas do veículo.....	51
4	Testes de verificação da eficiência da rede bayesiana de diagnóstico veicular (RBDV)	

Testes com a RBDV.....	57
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	72
6 APÊNDICE 1 TABELAS QUE COMPOEM A RBDV.....	75
7 APÊNDICE B - PROGRAMA JAVABAYES DA RBDV	104
8 Referências Bibliográficas	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Evolução dos sistemas eletromecânicos (GOTTSCHALK e KALMBACH, 2006). 18	18
Figura 1.2 Aumento da complexidade da eletrônica em veículos (HILGER, FORD e FLAHERTY, 2004).	19
Figura 2.1 Fontes de informação disponíveis para o processo de diagnóstico de falhas (HILGER FORD FLAHERTY, 2004).....	22
Figura 2.2 Evolução dos sistemas eletromecânicos (MSX, 2007).....	23
Figura 2.3 Sistema de leitura de DTC do sistema OBD do veículo.....	28
Figura 2.4 Tela típica de software de leitura de dados de funcionamento dos componentes do veículo (CANCAPTURE, 2008).....	29
Figura 2.5 Uma Rede Bayesiana típica (PEARL, 2000).	31
Figura 3.1 Seqüência de busca pelo defeito.....	36
Figura 3.2 Fluxo da seqüência de busca pelo defeito	38
Figura 3.3 Planilha de correlação entre as observações e os sistemas do veículo.....	41
Figura 3.4 Estrutura geral da RBDV proposta	42
Figura 3.5 RBDV, sistema de arrefecimento.....	43
Figura 3.6 Índice quilometragem da peças em termos de taxa de falha (SLACK 1999). 46	46
Figura 3.7 Curva da banheira na RBDV.....	47
Figura 4.1- Probabilidades de funcionarem sem que nenhuma observação seja efetuada na RBDV	59
Figura 4.2- Probabilidades dos sistemas funcionarem, dado o fato dos veículos apresentarem fumaça branca, observação efetuada na RBDV	62
Figura 4.3- Diferença de valor de probabilidade nos sistemas	63
Figura 4.4- Diagrama de Pareto dos sistemas com maior probabilidade de falha	64

Figura 4.5: RBDV sem observações .	65
Figura 4.6: Sistema elétrico/eletrônico do motor diagnosticado sem defeitos .	67
Figura 4.7: Sistema Motor básico .	68
Figura 4.8: resposta da $P(\text{Motor_basico funcionar} \text{Ruído_do_motor_diferente_do_padrão_de_funcionamento, fumaca_branca})$.	68
Figura 4.9- Probabilidades dos sistemas funcionarem, dado o fato dos veículos apresentarem baixo desempenho, observação efetuada na RBDV .	70
Figura 4.10- Probabilidades dos sistemas funcionarem, dado o fato dos veículos apresentarem vazamento do líquido de arrefecimento, observação efetuada na RBDV .	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tabela de probabilidade condicional (RUSSELL e NORVIG 1995).....	34
Tabela 3.1 – Índice (R/1000) em termos de probabilidade de falha	45
Tabela 3.2 – Quilometragem em termos de probabilidade de falha	47
Tabela 3.3 – Tabela de probabilidade de ligação do sistema de arrefecimento	49
Tabela 3.4 – Tabela de combinações dos elementos do sistema de arrefecimento	50
Tabela 3.5 - Planilha de correlação entre as observações e os sistemas do veículo.	53
Tabela 4.1 - Tabela de explicação dos campos dos dados da de entrada da RBDV	54
Tabela 4.2 - Entrada de dados da RBDV	55
Tabela 4.3 – Tabela de referência de diagnóstico Cummins (CUMMINS, 2002).....	58
Tabela 4.4 – Tabela com as observações das variáveis para consulta à rede	60
Tabela 4.5 – Tabela com as probabilidades dos sistemas funcionarem antes de efetuar a observação e após efetuar as observações	61
Tabela 4.6 – Tabela com os resultados da probabilidade de funcionamento do sistema elétrico/eletrônico do motor da RBDV.	66
Tabela 4.7 – Tabela com os resultados da probabilidade de funcionamento do sistema elétrico/eletrônico do motor da RBDV.	67
Tabela 4.8 – Tabela com as probabilidades de falha dos sistemas do veículo por meio de testes com a RBDV para verificação das disfunções: fumaça branca, vazamento do líquido de arrefecimento e baixo desempenho	69
Tabela A1.1 - Tabela de combinações e probabilidades da variável motor	76
Tabela A1.2 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema motor básico	84
Tabela A1.3 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema combustível	85

Tabela A1.4 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema elétrico do veículo	86
Tabela A1.5 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema elétrico/eletrônico do motor	87
Tabela A1.6 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema de admissão	88
Tabela A1.7 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema de arrefecimento	89
Tabela A1.8 - Tabela de combinações e probabilidades do componente turbo compressor	90
Tabela A1.9 - Tabela de combinações e probabilidades do componente linha de admissão	91
Tabela A1.10 - Tabela de combinações e probabilidades do componente radiador	92
Tabela A1.11 - Tabela de combinações e probabilidades do componente relé do veículo	93
Tabela A1.12 - Tabela de combinações e probabilidades do componente linha de baixa pressão de combustível	94
Tabela A1.13 - Tabela de combinações e probabilidades do componente alternador ...	95
Tabela A1.14 - Tabela de combinações e probabilidades dos componentes sensores e atuadores	96
Tabela A1.15 - Tabela de combinações e probabilidades do componente bateria	97
Tabela A1.16 - Tabela de combinações e probabilidades do componente válvula_termostática	98
Tabela A1.17 - Tabela de combinações e probabilidades do componente bomba_d'água	99

Tabela A1.18 - Tabela de combinações e probabilidades do componente Filtro de ar .	
.....	100
Tabela A1.19 - Tabela de combinações e probabilidades do componente módulo do motor (ECM)	101
Tabela A1.20 - Tabela de combinações e probabilidades do componente filtro de combustível	102
Tabela A1.21 - Tabela de combinações e probabilidades do componente filtro de combustível	103

1 INTRODUÇÃO

Parte das pesquisas na área de Inteligência Artificial (RUSSELL e NORVIG, 1995) busca desenvolver métodos computacionais que possuam a capacidade de simular a Inteligência humana. Dentre as possíveis aplicações tem-se o auxílio ou substituição do ser humano em tarefas perigosas, insalubres e repetitivas.

Geralmente quando citamos o termo “Inteligência Artificial”, pensamos em robôs, máquinas futuristas e tecnologias que se distanciam muito da atualidade. Entretanto, os veículos (e muitos outros produtos que utilizamos na nossa rotina) possuem a Inteligência Artificial aplicada em seu funcionamento com o objetivo de melhorar desempenho, reduzir os níveis de emissões de poluentes, aumentar a segurança na condução, reduzir os custos de operação e aumentar o conforto dos passageiros.

Um exemplo interessante da aplicação de Inteligência Artificial em veículos autônomos é a competição “DARPA Grand Challenge” (DARPA, 2007) que é financiada pelo Governo dos Estados Unidos, em que o objetivo é desenvolver veículos autônomos capazes de trafegar em ambientes desconhecidos, ou seja, o sistema de controle do veículo necessita reconhecer a rota, os obstáculos e tomar decisões durante o trajeto.

Em 2004 a competição possibilitou a integração de diversas equipes formadas por instituições de ensino, inventores, organizações militares e empresas, para trabalhar no desenvolvimento de veículos que pudessem inicialmente cumprir o percurso de 483 km em terreno fora de estrada no deserto de Mojave, nos Estados Unidos. Nenhuma das equipes finalizou a prova, entretanto, no ano seguinte 2005 o circuito foi cumprido por 05 equipes. Em 2007 a prova foi realizada em terreno urbano, sendo que as regras de trânsito e interação com o meio tiveram que ser respeitadas.

O projeto de um veículo com comportamento autônomo, como no caso da competição “DARPA Challenge”, se inicia com o controle básico do funcionamento dos próprios componentes do veículo, ou seja, antes de deter a capacidade de resolver problemas com o meio externo, é necessário que eventuais problemas internos possam ser detectados e corrigidos.

Servindo-nos da estatística Bayesiana, propomos neste trabalho um sistema de auxílio à tomada de decisão por meio de redes Bayesianas (IDE e COZMAN, 2001) para o diagnóstico veicular. Este sistema leva em consideração o histórico de falhas de componentes do veículo, metodologias empregadas no desenvolvimento de projetos automotivos e a

utilização do conhecimento tácito e explícito de especialistas do segmento automotivo. O principal motivo da escolha deste tema é a percepção da dificuldade em diagnosticar falhas em veículos que vem se tornando mais complexos a cada dia, devido ao emprego de novas tecnologias. Atualmente, a correção destes defeitos têm-se tornado um desafio.

Parte da dificuldade de diagnóstico é decorrente do uso de componentes eletrônicos nos veículos utilizados em vários sistemas, tais como: motor com injeção eletrônica, transmissão automática, alternador integrado ao motor de partida e sistemas de auxílio ao condutor (GUSIKHIN, FILEV e RYCHTYCHYJ, 2006).

O uso destes componentes é conhecido como “eletrônica embarcada”, e possui o objetivo de auxiliar no desempenho do veículo, reduzir os níveis de emissões de poluentes, aumentar a segurança e conforto do condutor e reduzir os custos de operação.

Dentre os componentes de veículos que sofreram maiores exigências de melhorias e alterações nos últimos anos podemos citar o motor. Tais melhorias foram executadas para atingir os requisitos de limite de emissões, incorporando ao funcionamento dos motores, dentre outros dispositivos, o controle eletrônico de injeção de combustível (BOSCH, 2005) (TAYLOR, 1985).

Na Figura 1.1, podemos verificar o aumento de componentes eletrônicos empregados no funcionamento dos veículos, sendo a tendência deste crescimento exponencial. Este fato reforça o desafio à capacidade de diagnosticar os veículos com o uso cada vez maior de componentes eletrônicos.

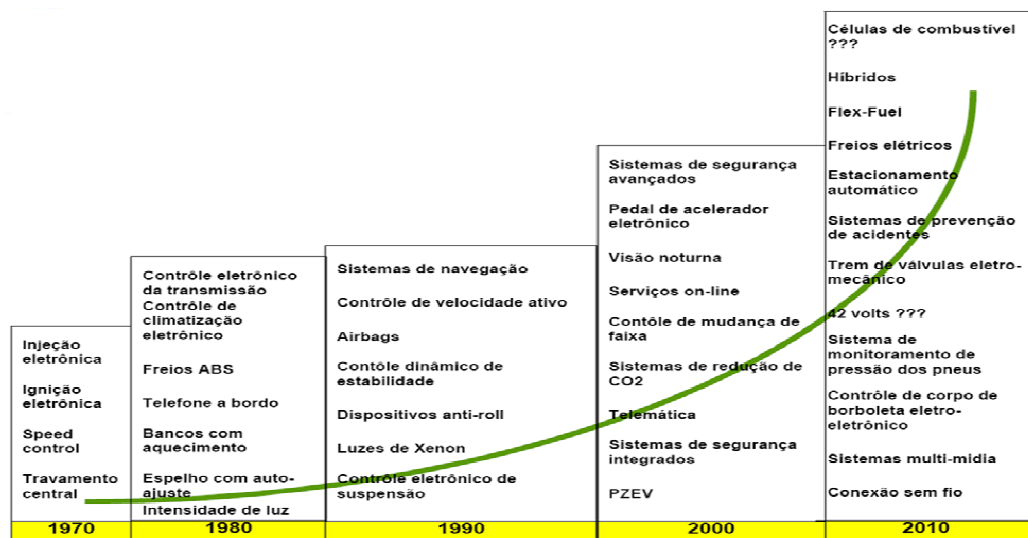


Figura 1.1 Evolução dos sistemas eletromecânicos (GOTTSCHALK e KALMBACH, 2006).

Na década de 70, a eletrônica era somente aplicada em veículos de luxo. Atualmente, esta realidade é presente em todas as classes e subsistemas de veículos. Apesar do emprego desta tecnologia ter se iniciado a mais de trinta anos, a aplicação em massa é mais percebida nos últimos anos, motivada principalmente pelas possibilidades de ganho de desempenho, redução de custo e redução de complexidade dos componentes.

Alguns modelos de veículos atualmente chegam a possuir diversas unidades eletrônicas de controle. A Figura 1.2 demonstra o crescimento do emprego de unidades de controle interno também conhecido por ECU (“Electronic Control Unit”), podendo em um mesmo veículo ultrapassar o total de 40 ECU’s. A figura também mostra o numero de parâmetros de funcionamento do motor descrito (“total number of ECU variants”), os parâmetros configuráveis do motor: máxima rotação do motor por marcha de engrenamento, velocidade máxima do veículo, dentre outras possibilidades.

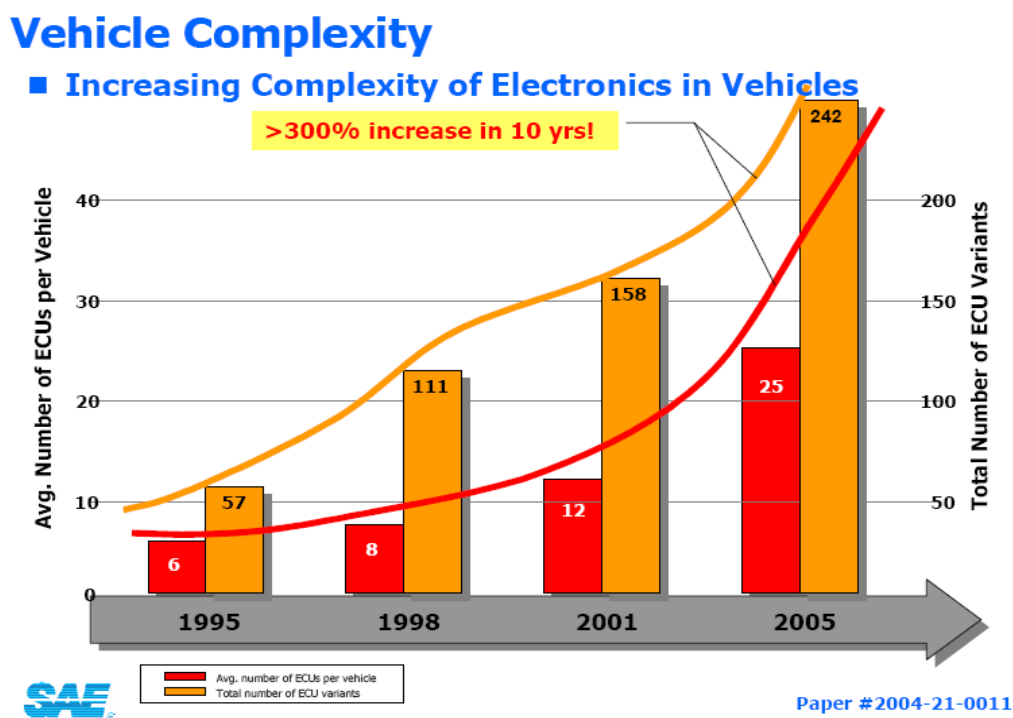


Figura 1.2 Aumento da complexidade da eletrônica em veículos (HILGER, FORD e FLAHERTY, 2004).

Um exemplo do uso de eletrônica na área automobilística são os veículos híbridos (LIU RAN LI, 2007) (WEBER, 2007) que contam com a eletrônica embarcada como itens essenciais para seu funcionamento e técnicas computacionais que, quando aplicadas na forma de algoritmos na ECU, propiciam um melhor desempenho do veículo. Dentre os algoritmos

instalados na ECU, vários são desenvolvidos utilizando diversos métodos de Inteligência Artificial, tais como lógica Fuzzy, Redes Neurais, algoritmos genéticos e redes Bayesianas (RUSSELL e NORVIG, 1995).

Podemos constatar que tanto pelo aumento do emprego de componentes eletrônicos nos veículos normais de produção, como em projetos de veículos autônomos, o desafio de efetuar o diagnóstico de falhas torna-se uma tarefa complexa que exige capacitação da mão-de-obra e métodos robustos no processo desta busca pela causa da falha do veículo.

Este trabalho tem por objetivo auxiliar o processo de diagnóstico veicular, propondo métodos estatísticos que utilizem o conhecimento a priori sobre os componentes do veículo. Deste modo, no Capítulo 2 abordaremos a evolução dos motores Diesel (objetivo de estudo deste trabalho para o processo de diagnóstico de falha), a capacitação técnica dos profissionais responsáveis e métodos de diagnósticos veicular existentes, além de redes Bayesianas, que é o método investigado neste trabalho para o processo de diagnóstico veicular. No Capítulo 3, demonstramos o método de diagnóstico veicular proposto neste trabalho, detalhando como o sistema foi desenvolvido e suas principais características estruturais. No Capítulo 4 são expostos os resultados obtidos com o método proposto neste trabalho, além de comparações com outros métodos de diagnóstico veicular existentes, fundamentando nossa escolha.

2 TEMAS RELACIONADOS AO TRABALHO

Neste Capítulo iremos abordar de forma resumida os principais assuntos que embasam este trabalho.

2.1 Evolução tecnológica dos motores Diesel

O motor Diesel representa praticamente a totalidade da unidade motriz utilizada na aplicação em veículos de transporte de carga, transporte coletivo, navios e geradores, devido a sua robustez e capacidade de propiciar torques elevados quando comparado a outros tipos de motores.

Os exemplos citados de aplicações do motor Diesel remetem à necessidade de que seu funcionamento seja robusto, confiável e não comprometa a operação em que esteja sendo utilizado. A quebra ou o mau funcionamento desse motor pode gerar gastos muitas vezes maiores que seu custo de aquisição em virtude da complexidade da operação em que é aplicado. Podemos citar, como exemplo da sua importância, a utilização como geradores estacionários de energia elétrica em hospitais.

Além da necessidade de robustez e confiabilidade, os fabricantes de motor Diesel buscam seu aprimoramento para o cumprimento das exigências governamentais de limites de emissão de gases. Na Europa, as normas que limitam a emissão de poluentes são conhecidas pelas siglas EURO I, II, III e na vigente Euro IV. No Brasil, existem exigências semelhantes, sendo regidas pelo órgão federal de meio ambiente por meio das normas Conama (CONAMA, 1995).

As principais modificações sofridas pelos motores Diesel ao longo da história foram a utilização de novos materiais e adoção do sistema de gerenciamento eletrônico, que controla a injeção de combustível. O sistema de gerenciamento eletrônico foi primeiro utilizado comercialmente nos motores de ciclo Otto e posteriormente nos motores Diesel, devido à necessidade de atender as exigências das leis ambientais e a redução de consumo de combustível.

Atualmente, com o aumento da aplicação da eletrônica embarcada em veículos automotivos, a interação do motor com outros componentes é crescente e a possibilidade de alterar parâmetros do motor de forma eletrônica tem sido um fator importante para o ganho de desempenho.

Apesar do benefício gerado com o uso de componentes eletrônicos, um reflexo destas alterações no motor Diesel foi a necessidade de que a rede de serviços esteja preparada para atender as necessidades de diagnóstico de falhas e reparos destes motores eletrônicos.

A seguir, na Seção 2.2, iremos confrontar a relação entre a evolução tecnológica e a capacitação técnica dos profissionais do segmento de manutenção.

2.2 Evolução Tecnológica Versus Capacitação Técnica

Devido à dificuldade em detectar o componente defeituoso, os profissionais técnicos automotivos em muitas ocasiões atuam sobre os efeitos e não sobre a causa dos problemas. Em alguns casos, efetua-se o método de tentativa e erro, trocando-se componentes sem critério na busca pela solução da falha do veículo. Esta metodologia, por sua ineficácia, necessita ser abandonada.

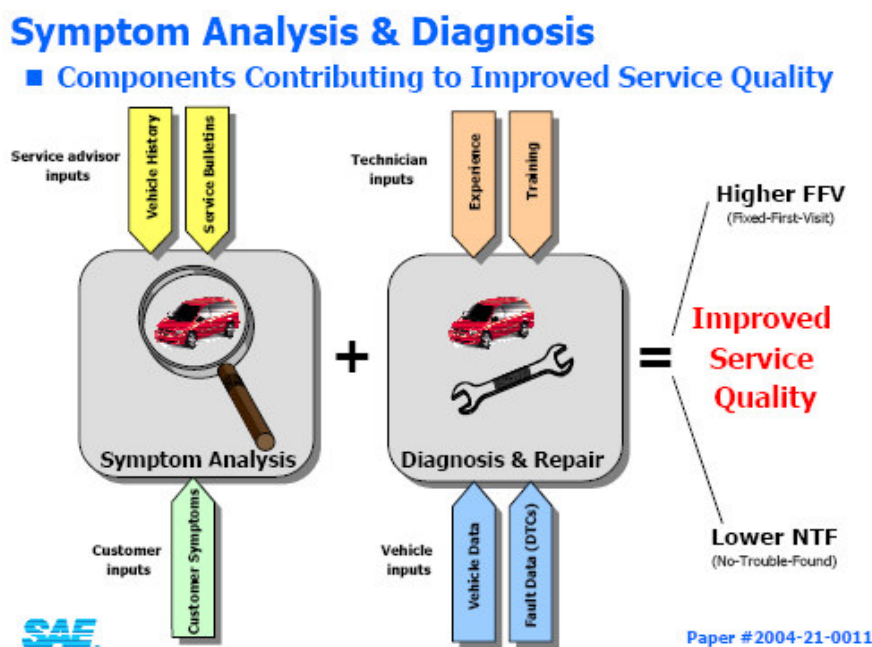


Figura 2.1 Fontes de informação disponíveis para o processo de diagnóstico de falhas (HILGER FORD FLAHERTY, 2004).

A Figura 2.1 demonstra as fontes de informação disponíveis para o processo de diagnóstico de falhas que quando utilizadas da forma correta, podem resultar na melhoria da qualidade do serviço de diagnóstico veicular, sendo citados como principais fontes de informação para o diagnóstico: o sistema de auto-diagnóstico do veículo, (GUSIKHIN, RYCHTYCKYJ e FILEV, 2007), observações efetuadas pelo condutor sobre o veículo, dados sobre históricos de falha, boletins de serviço e experiência dos técnicos de manutenção.

Utilizando estas informações pode-se obter como resultado a solução do problema na primeira vez em que o veículo for enviado para a detecção da falha. Entretanto, não são raras as situações em que o veículo é devolvido ao proprietário sem que a solução do problema seja encontrada, causando um provável retorno do veículo para um novo diagnóstico.

Pode-se verificar que a capacitação da mão-de-obra não acompanha a evolução tecnológica utilizada nos veículos. Como resultado desta diferença, há a troca inadequada de componentes e serviços de má qualidade.

Na Figura 2.2, verifica-se a diferença entre o aumento da complexidade dos veículos com a aplicação de novas tecnologias e o não proporcional aumento da capacitação técnica dos profissionais do segmento de manutenção e reparos de veículos. No Brasil, pesquisas (SINDIPEÇAS, 2008) demonstram que os donos de veículos têm preferência por levar seus carros em mecânicos de confiança, mesmo durante o período de garantia do veículo. Conforme visitas a oficinas mecânicas e até mesmo concessionárias, verifica-se que os profissionais normalmente possuem baixa escolaridade, dificuldade de entender os conceitos de eletrônica básica e a crença de que engenharia mecânica pode estar dissociada da engenharia eletrônica no momento de efetuar o diagnóstico veicular. O aumento da complexidade dos veículos, e a falta de métodos de análise e preparo da mão-de-obra, resultam geralmente em diagnósticos equivocados.

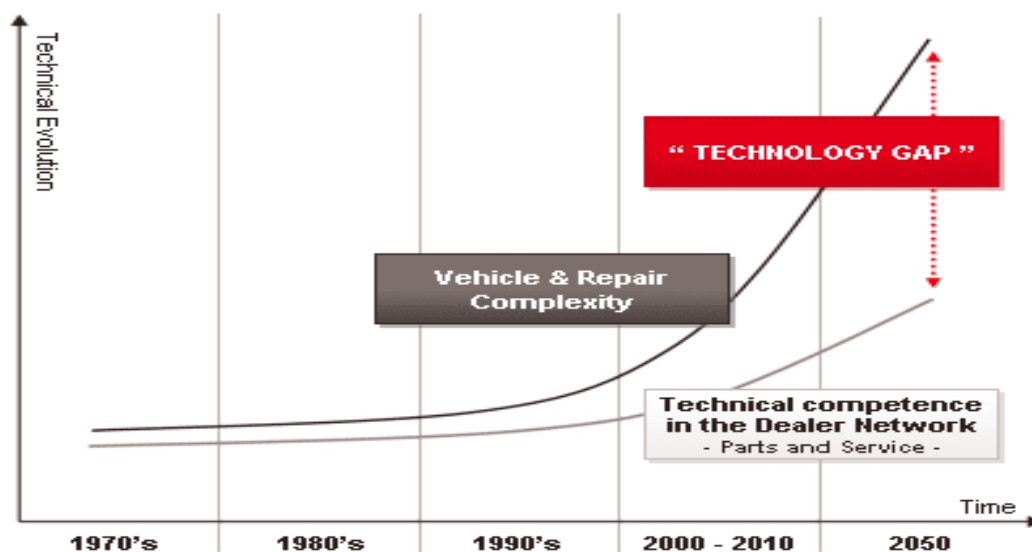


Figura 2.2 Evolução dos sistemas eletromecânicos (MSX, 2007).

Diante dos desafios no diagnóstico veicular, temos a necessidade e a oportunidade de desenvolver sistemas que possam auxiliar este processo, sendo dado a este tipo de sistema o

nome de “sistema especialista”.

2.3 Sistemas Especialistas

Nesta Seção abordam-se os “sistemas especialistas” (S.E.), também identificados pelo termo “sistemas de apoio a decisão”, descrevendo: conceitos básicos, principais áreas de aplicação, exemplos de sistemas desenvolvidos e as técnicas disponíveis para sua construção.

Podem-se verificar diversas definições para S.E., dentre elas:

“São sistemas que, dado o conhecimento de domínio apropriado, podem equiparar ou superar o desempenho de especialistas humanos em tarefas estritamente definidas”. (RUSSELL e NORVIG, 1995).

Apesar da definição de S.E. considerar a possibilidade de equiparar ou superar o especialista, a realidade é que na maioria dos casos ele funciona como um auxílio, retirando a carga do especialista de ter que lembrar de consultar grande quantidade de variáveis e dados históricos.

Outra definição:

“Sistemas especialistas são ferramentas computacionais cujo objetivo é simular as decisões que seriam tomadas por especialistas.” (COWELL, 1999).

Verificando as definições de S.E. temos como essência a idéia comum de que um S.E. tem o objetivo de auxiliar o homem, quer seja ele um profissional do segmento em questão ou simples usuário a tomar decisões na área restrita para o qual o S.E. foi definido.

Para que o sistema tenha êxito, necessita-se construí-lo seguindo algumas premissas:

- Definir a área do conhecimento humano a ser explorado pelo S.E.;
- Construir a base de conhecimento, extraíndo conhecimento de literaturas técnicas (livros, filmes, fatos históricos) e o conhecimento tácito de especialistas, transformados em dados organizados contendo regras estruturadas e declarações;
- Desenvolver um programa de computador em que será construído o algoritmo do S.E., relacionando as informações que formam a base de conhecimento.

A construção do S.E conta com especialistas que transmitem seu conhecimento de solução de problemas com a experiência profissional e também do engenheiro de conhecimento, responsável por transformar as informações provenientes do especialista e as

demais fontes de informação em uma base de conhecimento do S.E..

Os S.E. são empregados em diversos segmentos, dentre eles: engenharia mecânica, aeronáutica, química, medicina, geologia. Podemos dizer que, se há um segmento da sociedade em que o conhecimento é existente, é factível o emprego de um sistema especialista (FLORES, 2003).

Neste trabalho, o especialista e o engenheiro do conhecimento é a mesma pessoa e a proposta é o desenvolvimento de um sistema que utilize o conhecimento a priori do histórico de falhas dos componentes e métodos de diagnóstico aplicados ao raciocínio probabilístico por redes Bayesianas.

2.4 Sistemas especialistas aplicados ao diagnóstico veicular

Nesta Seção abordam-se os principais sistemas de diagnóstico veicular, os quais dividimos em três grupos:

1. Sistemas eletrônicos de leitura do código de falhas “on-board diagnose - OBD”;
2. Sistemas eletrônicos de leitura do código de falhas “off-board”;
3. Sistemas analíticos disponibilizados principalmente em manuais técnicos de manutenção.

2.4.1 Sistemas eletrônicos de leitura do código de falhas “On-Board Diagnose - OBD”

O veículo com controle eletrônico de injeção de combustível, transmissão automática, freio ABS, dentre outros componentes, possui diversos tipos de sensores e atuadores. Estes componentes são controlados pelas ECUs (eletronic control unit) de cada um dos seus componentes interligados pela linha de comunicação CAN BUS (JENSEN, 2005) (ISO 15031-5, 2007), que trafega as informações do funcionamento dos componentes para que sejam feitas verificações sobre o funcionamento do veículo.

Os veículos atualmente disponíveis no mercado possuem a tecnologia de auto diagnóstico de falhas, que é conhecida pelo termo em inglês “OBD” (BAULTUSIS, 2004) (JENSEN, 2005) (“On-board diagnose”), sistema de diagnóstico a bordo. Este sistema, apesar de útil, não possibilita ao condutor conhecer de forma satisfatória qual o problema do veículo, podendo levá-lo a falsas interpretações pois a informação para o condutor se resume a um sinal no painel de instrumentos sem maiores detalhes do problema. Vale ainda salientar que

existem diferentes regulamentações de sistema OBD, sendo as principais o sistema EOBD vigente nos veículos na Europa, OBD nos Estados Unidos e OBDBR no Brasil (GERALDO, 2006). A forma pela qual o sistema OBD interage com o condutor é um sinal de alerta, quando recebida esta informação no painel de instrumentos o condutor tem a possibilidade de evitar danos mais severos e custosos ao veículo, sendo prudente pará-lo a um local seguro para a detecção da avaria.

Para que um código de falha esteja presente na ECU é necessário que parâmetros de leitura dos sensores sejam ativados. Por exemplo, quando o motor é desenvolvido, convencionou-se que a temperatura do líquido de arrefecimento com o motor em funcionamento deve ser de no máximo 130°C. Se ultrapassado este limiar, um código de alerta é enviado para o condutor indicando uma condição do motor.

O sistema OBD é baseado em um algoritmo instalado na ECU, conhecido pelo jargão técnico calibração do motor ou “dataset”. O acesso a este algoritmo é restrito ao fabricante do motor, ao fabricante da ECU e à montadora que produz este veículo, sendo a calibração responsável pelo correto funcionamento do motor.

Para melhor detalhamento do diagnóstico do sistema OBD é necessário o uso de ferramentas de leitura do código de falha, principalmente disponíveis em centros automotivos de reparo que fazem a leitura dos códigos gravados no módulo de controle. Esta comunicação é efetuada por meio da linha de comunicação CAN protocolo J1939 (JENSEN, 2005).

A seguir será apresentado o segundo grupo de diagnóstico, o sistema “Off-board”, que é a categoria de sistemas em que se enquadra o sistema proposto neste trabalho, o RBDV.

2.4.2 Sistemas eletrônicos de leitura do código de falhas “Off-Board”

Conforme mencionamos anteriormente, o aviso de falha do sistema OBD pode não ser suficiente para a detecção da causa da falha é, portanto, necessário levar o veículo a um centro de reparos, sendo que com um leitor do código de falhas do motor é identificado o código de diagnóstico de falha DTC (“diagnose trouble code”). O DTC (DTC, 2008) é uma lista que correlaciona a falha a um código, o equipamento de leitura efetua esta identificação acessando a memória de falhas da ECU pela linha CAN (Controller Area Network).

Seguem alguns códigos exemplos de DTC:

“P0561 System Voltage Unstable”, (este DTC indica que a tensão elétrica do sistema está instável);

“P0562 System Voltage Low”, (este DTC indica que a tensão elétrica do sistema está abaixo do especificado);

“P0563 System Voltage High”, (este DTC indica que a tensão elétrica do sistema está acima do especificado);

Os códigos DTC são estruturados de acordo com a seguinte regra:

O primeiro caractere do DTC especifica a qual sistema se refere a falha:

- P = “Powertrain”, em português: trêm de força;
- B = “Body”, em português: cabine;
- C = “Chassis”
- U = “Undefined”, reservado para aplicações particulares dos fabricantes de veículo.

O segundo código se refere a um código de falha comum a todas as montadoras de veículo ou personalizado.

- 0 (zero), 2 e 3 são códigos genéricos;
- 1 = Designado a códigos específicos da montadora.

O terceiro dígito se refere a um subgrupo do primeiro código:

- 1 = Controle do fluxo de combustível ou admissão;
- 2 = Sistema de injeção de combustível e admissão de ar;
- 3 = Ignição;
- 4 = Controle de emissões de gases;
- 5 = Controle de velocidade do veículo e rotação do motor;
- 6 = Sensores e atuadores;
- 7 = Transmissão;
- 8 = Transmissão;
- 9 = Reservado ao SAE (Sociedade dos Engenheiros Automotivos);
- 0 = Reservado ao SAE (Sociedade dos Engenheiros Automotivos);

O quarto caractere é utilizado para informar problemas particulares de cada fabricante de veículo.

Diversos fabricantes comercializam estes equipamentos de leitura de código de falhas, dentre eles os fabricantes de veículo, as autopeças que fabricam a ECU ou o motor e empresas independentes que oferecem sistemas de leitura capazes de efetuar a leitura de falhas de veículos de diversas montadoras. Uma das dificuldades dos centros de serviço é a padronização não ideal dos DTC entre as montadoras e a restrição de acesso ao DTC a equipamentos que não são licenciados pelos fabricantes de veículo.

Os sistemas “off-board” de leitura de código de falhas são oferecidos em forma de

leitores de dados dedicados e restritos a leitura dos DTC's demonstrados na Figura 2.3, ou por softwares instalados em computadores onde, além da leitura do DTC, também é possível ler e gravar os valores registrados pelos sensores instalados nos veículos.



Figura 2.3 Sistema de leitura de DTC do sistema OBD do veículo.

A Figura 2.3 ilustra os seguintes componentes:

- Item 1 - Cabo de conexão entre o veículo e o leitor de código de falhas;
- Item 2 - Módulo eletrônico de leitura de dados de funcionamento do veículo;
- Item 3 - Cabo de conexão entre o módulo eletrônico e o visor de leitura dos DTC's;
- Item 4 - Visor de leitura dos DTC's;

Este conjunto compõe os componentes de diagnóstico “off-board” de leitura de código de falhas utilizados nos centros técnicos de manutenção. Na Figura 2.3, verifica-se como

exemplo um leitor comercializado pelo fabricante de motor Cummins; entretanto, o mercado oferece diversas outras marcas e fabricantes de leitores, que em essência funcionam da mesma forma.

Além dos leitores dedicados, o mercado disponibiliza também a opção de programas que podem ser instalados em computadores e, através do item 2 descrito na Figura 2.4, se comunicar-se com o veículo, com a vantagem de ser possível verificar mais informações além dos DTC.

Na Figura 2.4, demonstramos alguns dados que podem ser monitorados através dos programas de diagnósticos instalados em computadores.

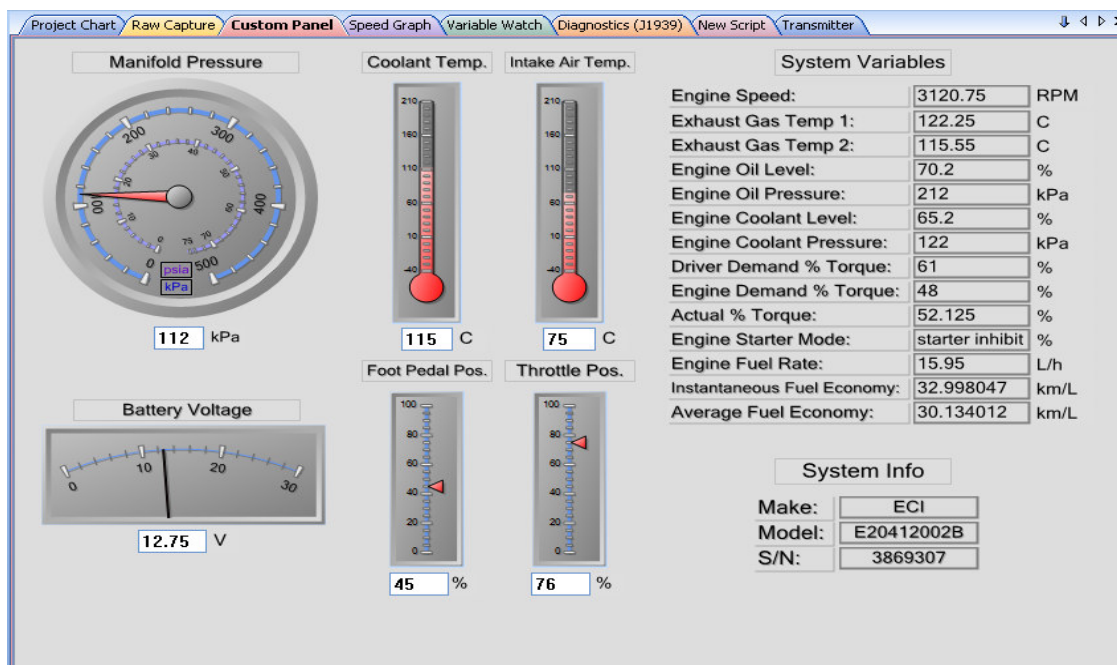


Figura 2.4 Tela típica de software de leitura de dados de funcionamento dos componentes do veículo (CANCAPTURE, 2008).

Os programas, conforme exemplo demonstrado na Figura 2.4, permitem a leitura de temperaturas, pressão e vazão de diversos sensores. Aliando estas informações ao conhecimento de um especialista em diagnóstico mecânico, existe uma maior possibilidade de acerto no diagnóstico de falha.

A seguir serão citados sistemas de auxílio para diagnósticos analíticos, tipicamente presentes nos manuais técnicos de fabricantes de motores e autopeças em geral.

2.4.3 Sistemas analíticos disponibilizados principalmente em manuais técnicos de manutenção

Os fabricantes de motor Diesel, para auxiliar suas redes de serviço, disponibilizam manuais técnicos relacionando o modo de falha (DAVID HOYLE, 1997) aos sistemas mais prováveis responsáveis pela falha. Um exemplo deste modelo é o manual do fabricante de motores Cummins (CUMMINS, 2002). Este manual utiliza uma estrutura de árvore de falhas para a busca do defeito (RUSSELL e NORVIG, 1995). A sua principal vantagem é a simplicidade de busca pelo defeito, propondo passo a passo os componentes a serem verificados.

Os sistemas de diagnóstico “Charley” desenvolvidos pela empresa General Motors e o “Service Bay Diagnóstico System” (GUSIKHIN, FILEV e RYCHTYCHYJ, 2006) tem como princípio utilizar o histórico de acontecimentos de falha para o desenvolvimento da solução desejada.

A seguir, na Seção 2.6, será descrita a técnica de Redes Bayesianas, em virtude do sistema de diagnóstico proposto neste trabalho utilizar esta técnica.

2.5 Redes Bayesianas

O termo Redes Bayesianas se origina do formalismo matemático utilizado para o cálculo de probabilidades derivado do Teorema de Bayes (BELLHOUSE, 2004).

O Teorema de Bayes relaciona probabilidades a priori $P(A_i)$ com probabilidades a posteriori $P(A|B)$, ou seja, a probabilidade de ocorrer "A" dado que conhecemos a probabilidade de "B" ocorrer.

Redes Bayesianas é um método matemático estatístico que utiliza grafos acíclicos para representar as dependências entre variáveis em um modelo probabilístico. Em outras palavras Redes Bayesianas são representações compactas de tabelas de conjunção de probabilidades de domínios (CHARNIAK, 1991) (RUSSELL e NORVIG, 1995).

Uma Rede Bayesiana consiste de um conjunto de variáveis, com um conjunto limitado de estados mutuamente exclusivos, relacionadas entre si por meio de arcos.

Os arcos são direcionados, sendo a origem do arco chamada nó pai e o destino nó filho. Este é um conceito importante para o cálculo da tabela de conjunção de probabilidade da rede para cada variável.

Para elucidar como é a uma estrutura de Redes Bayesianas, apresenta-se o exemplo desenvolvido por Judea Pearl (PEARL, 2000):

Em uma cidade em que a ocorrência de terremotos é comum e também há a preocupação com assaltos a residências ao sair para trabalhar, para inibir os ladrões instala-se um alarme que é acionado quando há percepção de movimento dentro da casa. Devido à sensibilidade do equipamento instalado, este alarme também é acionado no evento de pequenos terremotos. Porém, a casa em que foi instalado o alarme possui dois vizinhos, João e Maria, os quais prometeram avisar o dono por telefone no caso do alarme disparar. João sempre liga quando ouve o alarme e algumas vezes confundem o alarme com o telefone, e também liga nestes casos. Maria gosta de ouvir música de forma intensa e ruidosa e em algumas ocasiões não escuta o alarme. Esta situação descrita é representada por uma rede Bayesiana na Figura 2.5.

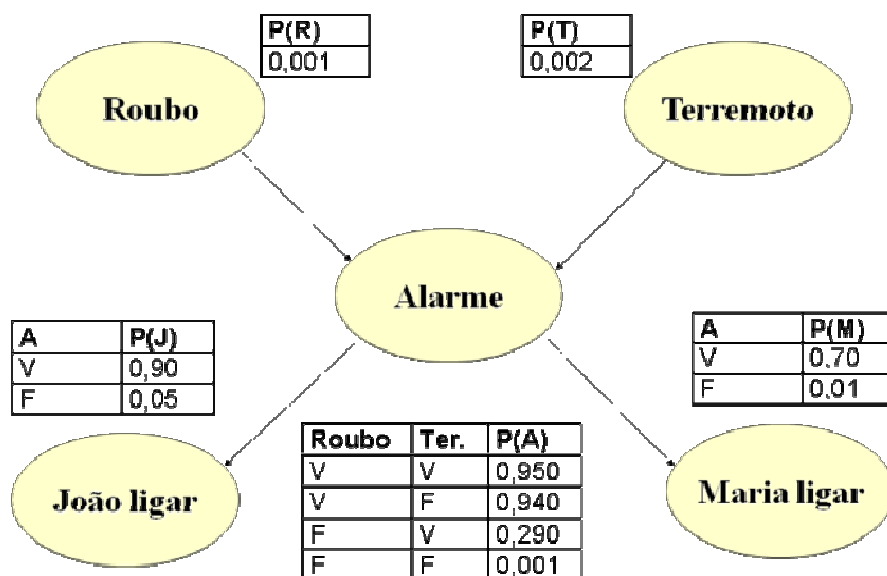


Figura 2.5 Uma Rede Bayesiana típica (PEARL, 2000).

Pode-se verificar que a Figura 2.5 representa uma rede Bayesiana típica a qual notam-se variáveis, arcos e tabelas de probabilidade condicionais.

Conforme análise da R.B. pode-se executar a seguinte consulta, que representa o evento do alarme tocar (A), João (J) e Maria (M) telefonarem e não ter havido terremoto ($\sim T$) e não ter havido roubo ($\sim R$):

$$\begin{aligned} & P(J \wedge M \wedge A \wedge \sim R \wedge \sim T) \\ & = P(J|A) P(M|A) P(A|\sim R \wedge \sim T) P(\sim R) P(\sim T) \\ & = 0.9 \times 0.7 \times 0.001 \times 0.999 \times 0.998 = 0.00062 \text{ ou } 0.062\% \end{aligned}$$

Esta é uma das consultas que pode ser feita, dentre muitas possíveis.

As representações gráficas das Redes Bayesianas possibilitam o entendimento da relação de dependência entre os nós, sendo importante tanto do ponto de vista matemático para o cálculo das probabilidades condicionais, quanto para a identificação visual da relação entre os nós. Na Figura 2.5 pode-se constatar que João liga independente de Maria ligar e vice versa, além do fato deles ligarem estar condicionado ao evento "alarme tocar". Maria e João ligam não por saberem de um roubo ou terremoto diretamente e sim pelo acionamento do alarme. O alarme pode ser acionado por um dos dois motivos ou ambos simultaneamente.

A metodologia de Redes Bayesianas se demonstra adequada para ser utilizada nas atividades de diagnóstico veicular. Quando se realiza o diagnóstico de problemas do veículo, encontra-se (em muitos casos) situações de incerteza, devido à falta de capacidade de observação de todos os componentes do sistema estudado. Desta forma, uma alternativa é agir baseado na probabilidade de falha dos componentes e seus modos de falha.

O diagnóstico da falha se encerra com a constatação do mau funcionamento do componente, sendo esta verificação determinada de forma particular por cada fabricante. Estas análises são muitas vezes complexas e exigem o conhecimento técnico de mecânica e/ou eletrônica.

2.6 Modelo Noisy-Or

Durante o desenvolvimento do sistema RBDV, nos deparamos com a necessidade de definir uma grande quantidade de probabilidades, por exemplo, a variável motor apresenta o total de 256 combinações, podendo aumentar futuramente esta quantidade de variáveis com a inclusão de novos componentes e sistemas do veículo.

Para solucionar esta necessidade do preenchimento das probabilidades criamos uma planilha eletrônica em que aplicamos a metodologia Noisy-Or (Cozman, 2004) e (Saheki, 2005) para calcular as probabilidades de falha dos componentes e sistemas do veículo.

A metodologia Noisy-Or pode ser aplicada quando os nós pais (variáveis) contribuem independentemente para a probabilidade do nó em que é aplicado o método Noisy-Or. O nó em que é aplicado o método Noisy-Or deve ser do tipo binário, representando, por exemplo, o estado verdadeiro ou falso.

Um nó X com categorias x e \bar{x} e nós pais Y_1, \dots, Y_n , possuem as probabilidades do nó X são dadas pela tabela conjunta de probabilidades condicionais $p(X | Y_1, \dots, Y_n)$.

A representação compacta da função Noisy-Or é representada por:

$$p_i = p(X = V | p_i = V, \{Y_j = F\}_{j=1, j \neq i}^n).$$

Para esta função considera-se V para variáveis do tipo verdadeiro e F para as variáveis do tipo falsas, $\{X=V\}$ e $\{Y_j = F\}$ para $J \neq i$.

Considerando:

$$X = (Y_1' \vee Y_2' \dots \vee Y_n');$$

As probabilidades p_i são conhecidas como probabilidades de ligação e o valor da probabilidade conjunta é expresso pela função:

$$p(X = V | Y_i, \dots, Y_n) = 1 - \prod_{i: Y_i=T} (1 - p_i).$$

Demonstra-se a seguir um exemplo da aplicação do método, (RUSSELL e NORVIG,

1995) que ilustra a probabilidade de um paciente não ter febre dados as evidências resfriado, gripe e malária.

Supondo as seguintes probabilidades:

- $P(\neg\text{febre} \mid \text{resfriado}, \neg\text{gripe}, \neg\text{malária}) = 0.6$
- $P(\neg\text{febre} \mid \neg\text{resfriado}, \text{gripe}, \neg\text{malária}) = 0.2$
- $P(\neg\text{febre} \mid \neg\text{resfriado}, \neg\text{gripe}, \text{malária}) = 0.1$

Utilizando a técnica Noisy-Or, podemos construir a tabela de probabilidade condicional a partir das probabilidades $P(D \mid R_i)$ para cada nó R_i , onde D é a probabilidade de febre e R são as evidências. A Tabela 2.1 ilustra a distribuição da probabilidade condicional.

Tabela 2.1 - Tabela de probabilidade condicional (RUSSELL e NORVIG 1995).

Resfriado	Gripe	Malaria	P(Febre)	P(\neg Febre)
F	F	F	0.0	1.0
F	F	V	0.9	0.1
F	V	F	0.8	0.2
F	V	V	0.98	$0.02 = 0.2 \times 0.1$
V	F	F	0.4	0.6
V	F	V	0.94	$0.06 = 0.6 \times 0.1$
V	V	F	0.88	$0.12 = 0.6 \times 0.2$
V	V	V	0.988	$0.012 = 0.6 \times 0.2 \times 0.1$

Percebe-se que onde encontramos o valor “V” multiplica-se as probabilidades e trabalha-se com esse resultado para construção da RBDV.

No próximo Capítulo será demonstrado o método de diagnóstico veicular proposto neste trabalho, detalhando como o sistema foi desenvolvido e suas principais características estruturais.

3 REDES BAYESIANAS PARA O DIAGNÓSTICO VEICULAR (RBDV)

Neste Capítulo será descrito o método proposto neste trabalho, o qual será detalhado as principais características do sistema RBDV.

3.1 Método proposto

Apesar da existência de diversos métodos de diagnóstico veicular apresentados no Capítulo 2, tanto "on-board" quanto "off-board" neste trabalho, propõem-se um método que utiliza o conhecimento a priori. O conhecimento a priori refere-se ao estudo das informações de índices de qualidade dos componentes, histórico de procedimentos de diagnósticos anteriores, histórico de reclamações e (de forma geral) toda informação pertinente ao problema em questão que possa auxiliar o processo de diagnóstico.

O método proposto RBDV tem como proposta diminuir a ocorrência da troca aleatória de componentes (na busca por resolver qualquer tipo de problema no veículo), aumentando consideravelmente as chances de identificar a causa raiz (PALADY, 2002) do defeito.

Na Figura 3.1, demonstra-se a proposta deste trabalho da seqüência de busca pelo defeito:

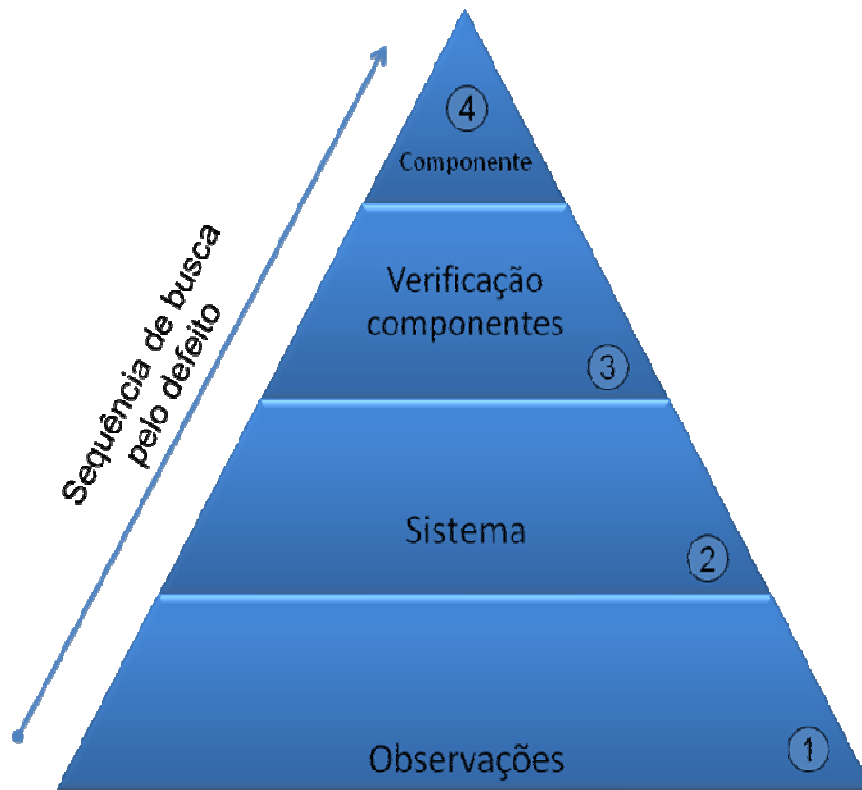


Figura 3.1 Sequência de busca pelo defeito.

A seguir será explanada cada componente da pirâmide da figura 3.1.

- 1 - Verificar quais são as observações do condutor, constatando a existência de indícios, como vazamentos, ruídos, vibrações, dentre outras possibilidades que auxiliem o diagnóstico;
- 2 - Com as informações recebidas, verifica-se na base de conhecimento do sistema RBDV quais são os sistemas do veículo que podem ser responsáveis pela falha;
- 3 - Uma vez detectados os mais prováveis sistemas defeituosos:
 - Selecionar o sistema com maior probabilidade de falha;
 - Verificar a probabilidade de falhas dos componentes deste;
- 4 - Pelo diagnóstico preliminar é possível determinar se o componente está com defeito ou não. Esse processo termina quando o componente defeituoso é encontrado.

Utilizando as instruções particulares a cada fabricante dos componentes, executa-se o procedimento de avaliação prévia dos componentes que é determinado pelo fabricante da peça. Caso o componente seja considerado apto para continuar em funcionamento, seguimos a análise para o próximo componente.

Durante esta avaliação, são freqüentes os casos falso negativos, ou seja, avalia-se que o componente está com defeito; entretanto, ele pode estar em plena condição de funcionamento. Este tipo de engano acontece principalmente com componentes elétricos do veículo, que requerem instrumentos de avaliação eletrônicos.

Na Figura 3.2 utiliza-se a estrutura de um fluxograma para demonstrar o processo que foi ilustrado na Figura 3.1. Propomos que seja seguido para o diagnóstico veicular.

A disponibilidade de um fluxo para o processo de diagnóstico facilita e padroniza a forma de efetuar o diagnóstico, aumentando as chances de acerto.

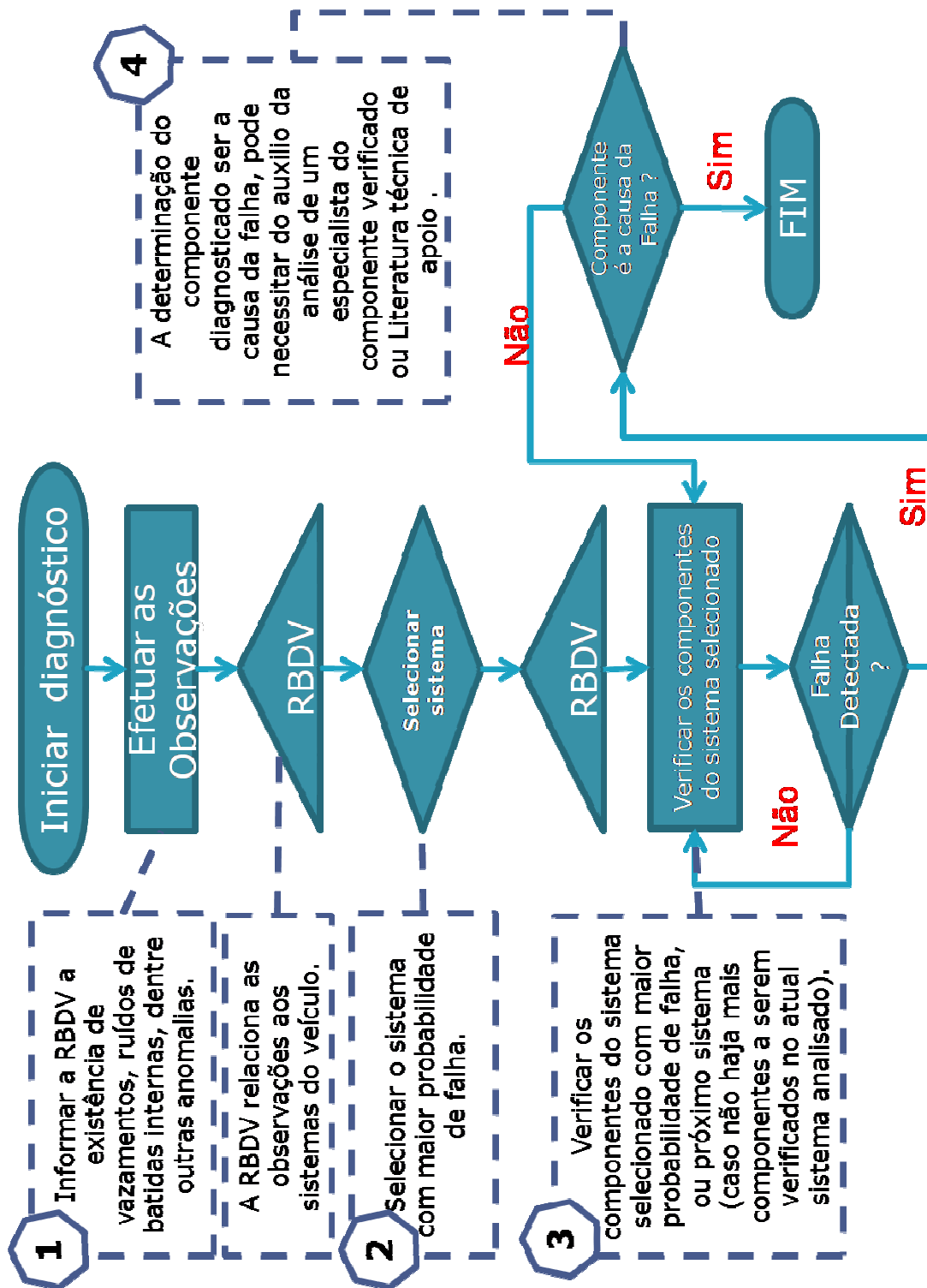


Figura 3.2 – Fluxo da seqüência de busca pelo defeito

Figura 3.2 Fluxo da seqüência de busca pelo defeito .

A Seção 3.2 demonstra a RBDV completa, suas principais características e como ela deve ser lida.

3.2 REDE BAYESIANA CONSTRUÍDA POR MEIO DO PROGRAMA JAVABAYES

Demonstra-se na Figura 3.3 a Rede Bayesiana Diagnóstico Veicular (RBDV), que é o foco principal deste trabalho.

Esta rede é o resultado de uma evolução de várias outras estruturas de rede Bayesiana para diagnóstico veicular que desenvolvemos e analisamos anteriormente, durante o curso desta dissertação.

Durante o desenvolvimento um dos objetivos foi criar uma rede onde seja possível adicionar ou remover nós, de forma que a estrutura original não seja comprometida. No Capítulo 4 iremos demonstrar os resultados obtidos com testes de diagnóstico.

Para a construção da RBDV utilizamos o programa JavaBayes (COZMAN, 2001), desenvolvido em linguagem Java, disponível gratuitamente através da licença GNU no endereço: <http://www.cs.cmu.edu/~Javabayes> (último acesso em 12/11/2008) (COZMAN, 2001), devido à sua facilidade para construção da rede, ser gratuito, confiável e ter sido desenvolvido no Brasil, fato este que nos permite maior possibilidade de interação com seus desenvolvedores. Outros programas que utilizam Redes Bayesianas são: o SMILE (SMILE, 2008), desenvolvido na Universidade de Pittsburgh, <http://www2.sis.pitt.edu/~genie/> (último acesso em 12/11/2008); o Hugin (HUGIN, 2008), disponibilizado pela empresa Hugin Expert; o MSBN (MSBN 2008), disponibilizado pela empresa Microsoft; o BNT (BNT, 2008), desenvolvido pela Universidade British Columbia, Nética (NETICA, 2008) comercializado pela empresa Nética of Company Norsys, dentre outros (<http://www.cs.ubc.ca/~murphyk/Bayes/bnsoft.html>) (último acesso em 12/11/2008) (MURPH, 2005).

A RBDV possui as categorias de nós, nós observações, nós sistemas e nós componentes, conforme demonstrado na Figura 3.3.

Os "nós observações" são utilizados para informar à RBDV as evidências do tipo fumaça branca, fumaça preta, ruídos de batida interna, dentre outras possibilidades. Esta informação favorece a busca pela causa do problema do veículo, em virtude de que para cada tipo de observação temos quais sistemas do veículo possuem componentes que podem ser a causa deste fenômeno. Esta correlação foi levada em consideração durante o processo construção da rede e também do diagnóstico.

Os "nós sistemas" são utilizados para identificar os sistemas do veículo que se

relacionam com o motor, por exemplo, o sistema de arrefecimento, responsável por reduzir a temperatura do líquido de arrefecimento do motor, circulando líquido de arrefecimento entre o motor e um trocador de calor do tipo ar-líquido. Esta correlação entre o motor e outros sistemas deve ser levada em consideração, em virtude de que falhas de componentes destes sistemas podem causar falhas no motor. Os "nós componentes" descritos na RBDV possuem como nós pais os nós R/1000, quilometragem da peça e diagnóstico prévio (que será explicado a seguir nas Seções 3.2.1, 3.2.3 e 3.2.3).

A Figura 3.4 elucidada a relação entre a RBDV, Figura 3.3, e a sequência de busca pelo defeito, Figura 3.1, verifica-se de que forma partimos das observações e chega-se à probabilidade do componente que está com defeito. Vale ainda lembrar que a explicação dos itens enumerados de 1 a 4 nas Figuras 3.1, 3.2 e 3.3 são os mesmos e reforçam a explicação da Figura 3.4.

Na Figura 3.5, demonstra-se um exemplo do sistema de arrefecimento que é uma parte da RBDV da Figura 3.3 e a estrutura básica de outros sistemas do veículo.

Na Figura 3.5 temos a representação da RBDV dividida em três grupos: O grupo dos nós dados a priori é representado pelos nós R/1000, quilometragem da peça e diagnóstico prévio. Antes de iniciar o processo de diagnóstico, os índices de qualidade dos componentes nos servem como um direcional de qual componente possui maior probabilidade de falha, grupo componentes e grupo sistemas.

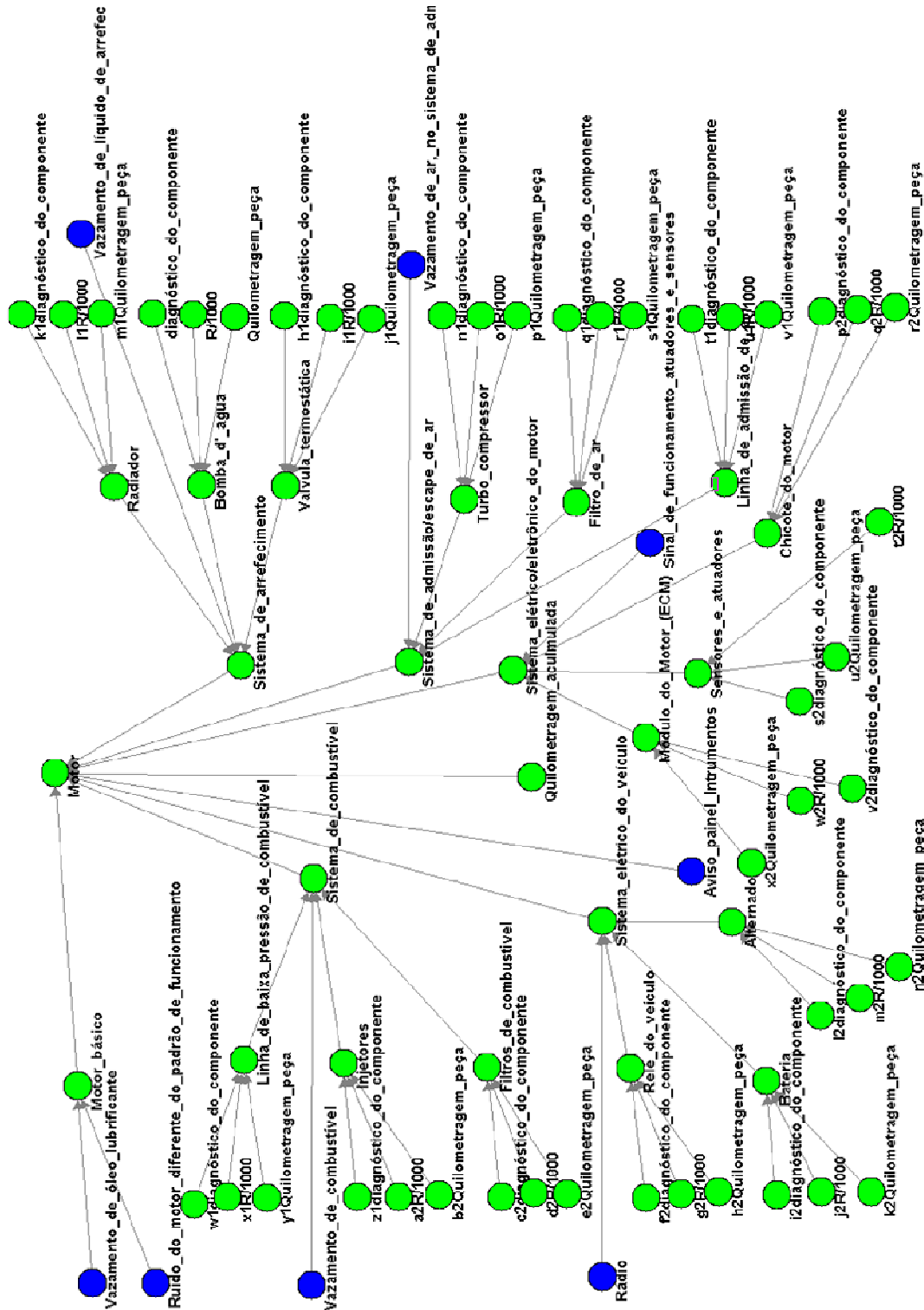


Figura 3.3 Planilha de correlação entre as observações e os sistemas do veículo

Figura 3.3 – Rede Bayesiana Diagnóstico Veicular (RBDV) proposta

Redes Bayesianas diagnóstico veicular (RBDV)

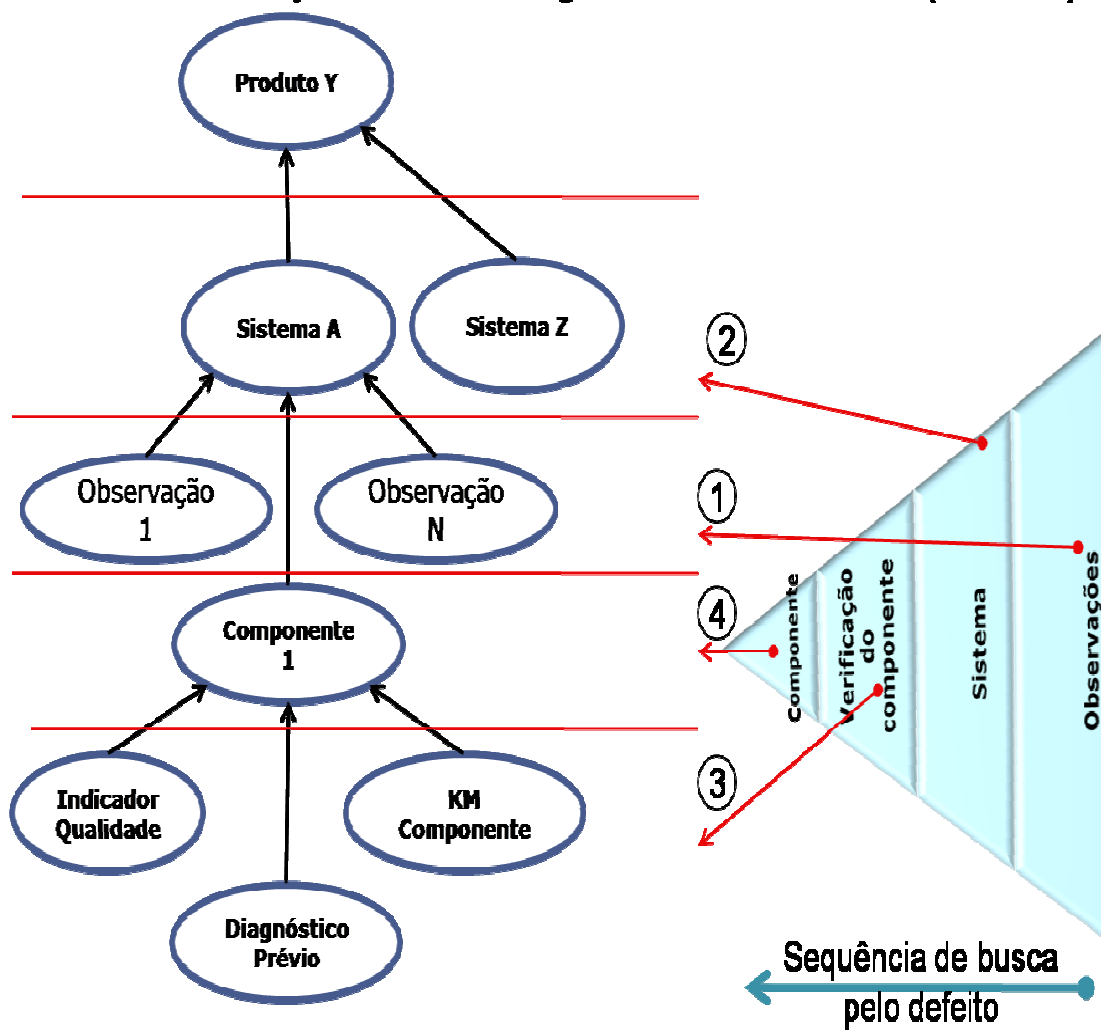


Figura 3.4 Estrutura geral da RBDV proposta .

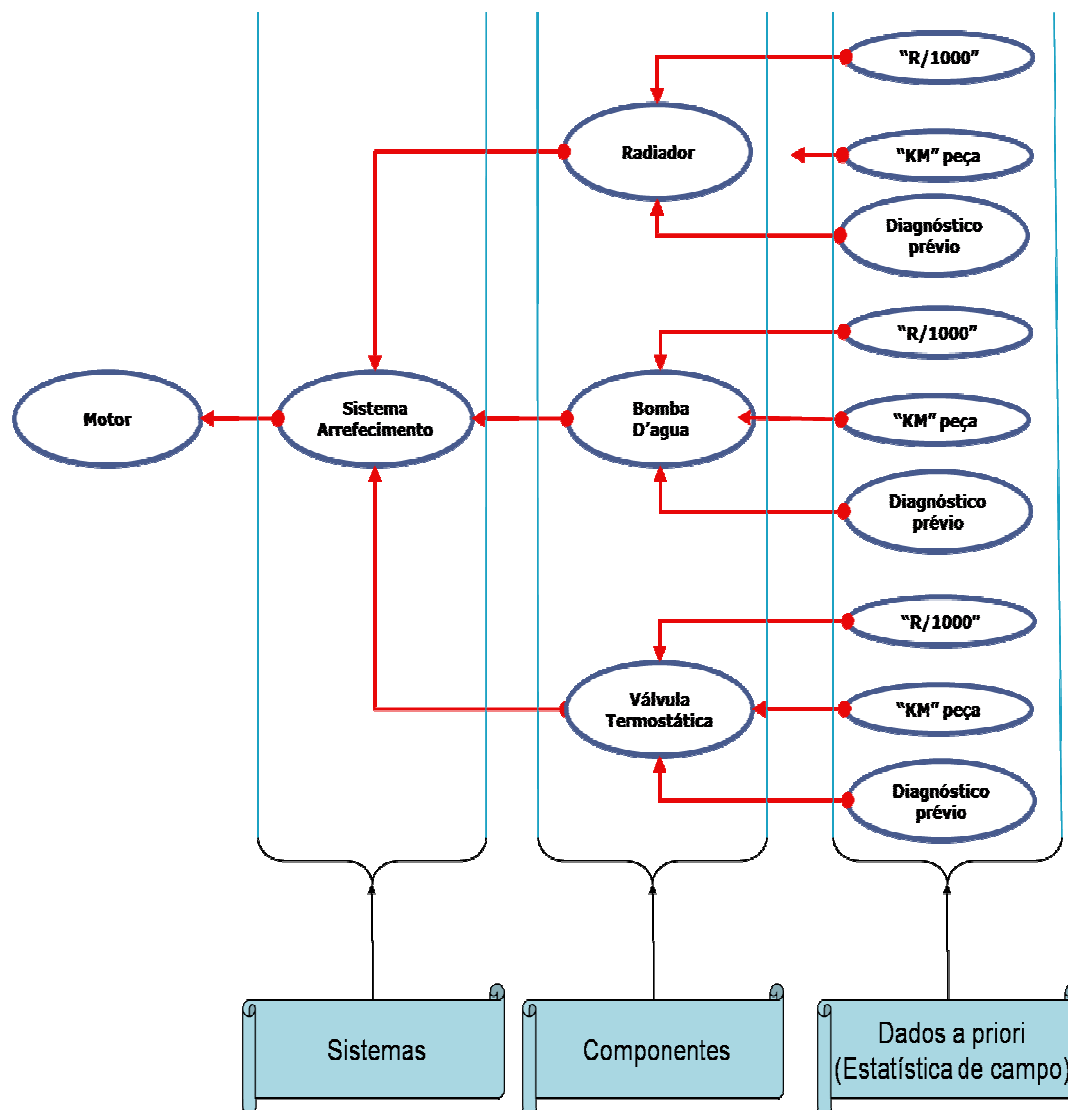


Figura 3.5 RBDV, sistema de arrefecimento.

Outros sistemas da RBDV seguem essa mesma estrutura, sendo particular a cada sistema o número de componentes e o valor dos dados a priori.

Vale ressaltar que, na Figura 3.5, é representada a relação de dependência entre os nós, sendo os nós: R/1000, quilometragem da peça e diagnóstico prévio, pais dos nós componentes e o nó sistema pai do nó motor. Esta relação entre os nós pais e filhos é importante no cálculo das probabilidades de falha, uma vez que a probabilidade de um nó é calculada com base nos seus pais.

Na Seção 3.3 explana-se o conceito utilizado para o cálculo dos dados a priori.

3.3 Dados a priori

3.3.1 Dados a priori: nó “R/1000”

O conceito de utilizar os índices de qualidade para o cálculo de diagnóstico está sendo proposto neste trabalho, tão longe quanto nosso conhecimento permite analisar não há propostas de trabalhos semelhantes.

Os profissionais especialistas em diagnóstico e reparos automotivos utilizam de forma subjetiva o conhecimento a priori de dados de qualidade e quilometragem em que normalmente os componentes apresentam falha. Esta consideração subjetiva neste trabalho foi interpretada e transformada em probabilidade de falha dos componentes.

Dentre os índices de controle da montadora, o índice R/1000 que representa o número de reparos por mil unidades produzidas se origina da preocupação das montadoras com a quantidade de falhas de componentes em campo, em virtude de custos e do descontentamento do cliente. O R/1000 relaciona o número de trocas do componente e o número de veículos vendidos com este componente.

Estes dados são monitorados para verificar quais os componentes que mais apresentam falhas e, conseqüentemente, necessitam de ações de melhoria.

O cálculo do índice R/1000 é obtido por meio da relação entre o número de reparos pelo número de veículos vendidos daquele mesmo lote.

A seguir apresenta-se a representação do cálculo do índice R/1000.

$$R/1000 = \frac{\text{Número de reparos}}{\text{Número de veículos produzidos}} \times 1000$$

Um exemplo de como obter o índice (R/1000) segue:

Vende-se 1000 veículos e deste lote são trocados 25 bombas de combustível por motivo de defeito. Nesse caso, tem-se o seguinte cálculo:

$$\begin{aligned} R/1000 &= \frac{\text{Numero de reparos}}{\text{Numero de veículos}} \times 1000 \\ &= \frac{25}{1000} \times 1000 = 25 \end{aligned}$$

Em virtude deste trabalho abordar o cálculo de probabilidades, é proposto uma relação entre o índice R/1000 e a sua representação probabilística.

Relacionando o índice R/1000 em termos de probabilidade de falha, temos que probabilidade de falha do componente é igual a $R/1000 / 10$. No exemplo acima, tem-se, portanto a probabilidade de falha do componente é igual a $25/1000 = 2,5 \%$. Este valor é considerado como a probabilidade de falha da bomba de combustível na RBDV.

A Tabela 3.1 relaciona o índice R/1000 em termos de probabilidade de falha.

Tabela 3.1 – Índice (R/1000) em termos de probabilidade de falha .

R/1000	Prob. Falha
0	0%
100	10%
200	20%
300	30%
400	40%
500	50%
600	60%
700	70%
800	80%
900	90%
1000	100%

3.3.2 Dados a priori: nó quilometragem da peça

Conforme testes durante o desenvolvimento dos veículos e também nas fases de lançamento de novos produtos, uma curva conhecida como curva da banheira (que indica a maior tendência das falhas acontecerem em faixas de quilometragem) é utilizada para o planejamento das ações de melhoria dos veículos.

O gráfico, representado na Figura 3.6, possui três diferentes fases:

- mortalidade infantil: componentes frágeis, mal fabricados, montados de forma inadequada;
- vida útil: taxa de falha (defeitos) constante;
- envelhecimento: taxa de falha crescente.

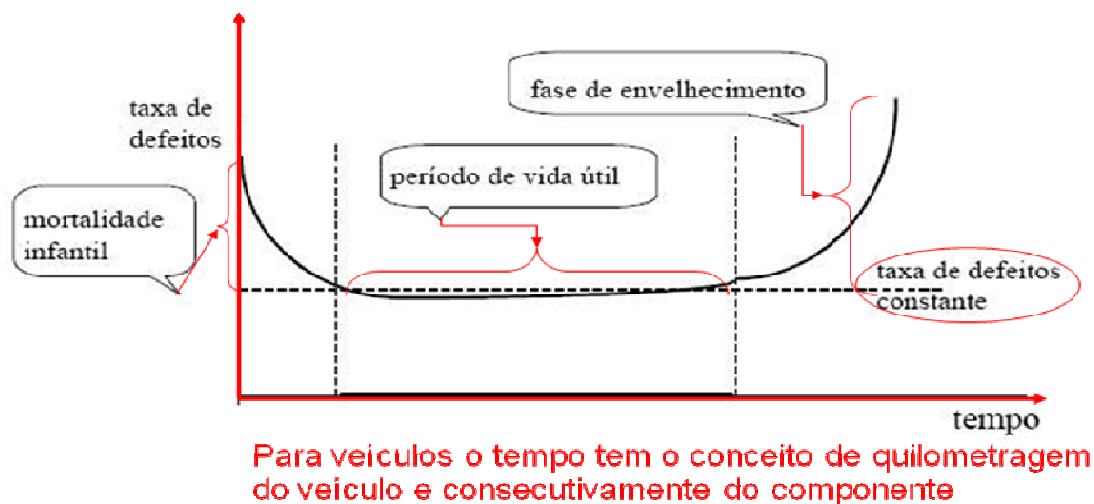


Figura 3.6 Índice quilometragem da peças em termos de taxa de falha (SLACK 1999).

A relação entre a quilometragem do veículo e a probabilidade de falha do componente é algo complexo de se determinar em função de diversos fatores, dentre eles: tipo de componente, fabricante, aplicação do veículo, etc. Esta informação não é disponível em literatura e até não é totalmente conhecida pelas montadoras e indústrias de autopeças.

Durante testes de campo no desenvolvimento de projetos veiculares, foi trabalhado a busca por determinar a relação entre os componentes que estavam sendo avaliados e a quilometragem mínima que estes componentes deveriam suportar.

A Tabela 3.2 relaciona a quilometragem da peça com a probabilidade de falha do componente, sendo esta relação uma inferência do autor como especialista. Estes dados da relação entre a quilometragem da peça e a probabilidade de falha são sigilosos e de propriedade intelectual das empresas (autopeças e montadoras) que as detém. Por isto, para este estudo, efetuou-se uma estimativa destes dados para suprir a RBDV com a probabilidade de falha em função da quilometragem das peças. Em trabalhos futuros poderemos levantar experimentalmente estes dados, ou (no caso de aplicar a RBDV em conjunto com uma montadora) utilizar os dados disponibilizados pela mesma. A Figura 3.7, representa graficamente os dados da Tabela 3.2 e confirma a disposição da probabilidade de falha em função da quilometragem da peça em forma de curva da banheira.

Tabela 3.2 – Quilometragem em termos de probabilidade de falha .

KM da Peça	Probabilidade de falha
0	15%
1k	10%
1.5k	9%
4k	8%
15k	7%
25k	6%
40k	6%
60k	6%
80k	6%
120k	7%
180k	8%
200k	9%
250k	10%
300k	15%

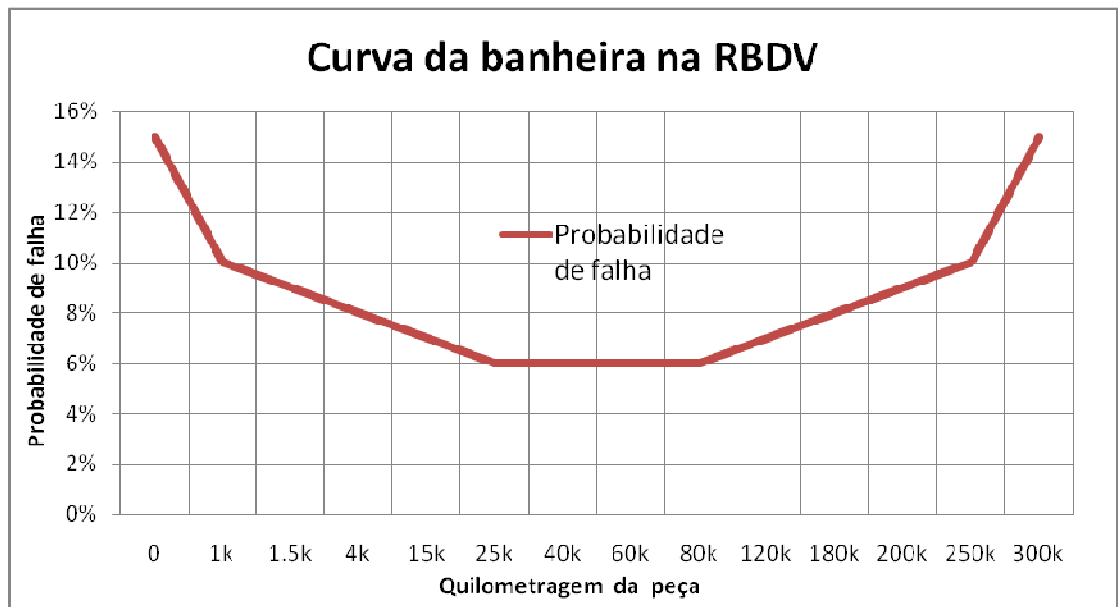


Figura 3.7 Curva da banheira na RBDV.

3.3.3 Dados a priori: nó diagnóstico preliminar

A proposta do nó “diagnóstico preliminar” é possibilitar a alteração de forma rápida do valor da probabilidade de falha de um componente:

Suponhamos que temos dois componentes identificados pelos nós A e B, e as probabilidades de falha deles são respectivamente 70% e 82%, portanto é mais provável que o componente B esteja com defeito e por este motivo será escolhido para efetuar o diagnóstico preliminar. Após esta verificação (efetuada por um especialista seguindo procedimentos técnicos do fabricante do componente), será remetida a situação de o componente ter somente dois valores de probabilidade de falha, que são 0% o componente funciona ou 100% o componente esta com defeito.

Por intermédio da alteração da probabilidade de falha dos componentes pode-se aumentar a chance de acerto de diagnóstico da RBDV, eliminando as possibilidades do componente estar com defeito.

Durante o processo de desenvolvimento da RBDV, além dos nós de conhecimento a priori, também utilizamos a probabilidade de ligação para o cálculo das probabilidades a priori, tendo sido importante este fator para que os sistemas do veículo pudessem levar em consideração o fator de influência entre os nós da RBDV.

Além dos dados a priori consideramos a utilização da probabilidade de ligação, que é empregado para que o conhecimento técnico automotivo possa ser explícito na RBDV, conforme elucidamos na Seção 3.4.

3.4 A utilização do conceito probabilidade de ligação

A utilização do conceito de probabilidade de ligação na determinação das probabilidades de falhas dos nós da RBDV possibilitou que pudéssemos considerar importâncias distintas a nós pais em relação a nós filhos, baseado na análise de um especialista. Um exemplo desta consideração é o sistema de arrefecimento.

O sistema de arrefecimento na RBDV possui os seguintes nós pais:

- Radiador;
- Válvula termostática;
- Bomba d’água;
- Vazamento do líquido de arrefecimento.

Para determinarmos a probabilidade de funcionamento do sistema desenvolvemos a seguinte Tabela (Tabela 3.3):

Tabela 3.3 – Tabela de probabilidade de ligação do sistema de arrefecimento .

Sistema/peça	Sistema_de_arrefecimento	
		Probabilidade de ligação
Componentes	Radiador	9
	Valvula_termostatica	7
	Bomba_dagua	8
	Vazamento_liq_Arref.	10

A probabilidade de ligação indicada na Tabela 3.3 deve ser interpretado da seguinte forma:

A bomba d'água tem probabilidade de ligação igual a 10, numa escala de 0 a 10, e a observação de vazamento de líquido de arrefecimento igual a 8. Há um valor de probabilidade de ligação diferente entre os dois pelo fato de que o não funcionamento da bomba d'água acarreta o imediato super aquecimento do motor, portanto, esta se trata de uma falha mais severa que o vazamento do líquido de arrefecimento.

Na Tabela 3.4 temos as 16 combinações possíveis de estado de funcionamento entre os quatro elementos que compõem o sistema de arrefecimento. O zero indica na Tabela que o componente esta funcionando e o um que não está funcionando.

Na indicação 1, na Tabela 3.4, temos o estado zero, que indica a situação dos quatro componentes funcionarem. Na linha com a indicação 2, está a situação dos quatro componentes não funcionarem. A indicação 3 se refere a probabilidade de ligação e a indicação 4 ao complemento da probabilidade de ligação para o total de 10, no exemplo do sistema da bomba d'água que tem probabilidade de ligação 10 a indicação 4 de 0% corresponde a chance do sistema funcionar em caso de falha deste componente.

Esta Tabela de probabilidades conjunta do sistema de arrefecimento, foi calculada utilizando o método "Noisy Or" detalhado na Seção 2.6.

Por meio das indicações 5, 6 e 7 demonstramos como o calculo do método "Noisy Or" foi utilizado na RBDV.

Na indicação 5 temos a ocorrência de falha do item radiador, sendo a probabilidade do sistema de arrefecimento funcionar dado a ocorrência de falha do radiador igual a $10 - 8$ (valor de probabilidade de ligação) = 2 ou $100\% - 80\% = 20\%$. Na indicação 7 efetuamos o

calcula da probabilidade do sistema de arrefecimento funcionar dado que haja a falha do radiador (indicação 5) e também que ocorra vazamento do líquido de arrefecimento (indicação 6), sendo o cálculo efetuado por meio das probabilidades de funcionar das indicações 5 e 6.

Tabela 3.4 – Tabela de combinações dos elementos do sistema de arrefecimento .

	Radiador	Valvula_termostatica	Bomba_dagua	Vazamento_liq_Aref.	Sistema_de_arrefecimento			
	8	8	10	8				
	20% ▾	20% ▾	0% ▾	20% ▾	Funciona		Não Funciona	
	0	0	0	0	1	100.00%	17	0.00%
	0	0	0	1	3	20.00%	19	80.00%
	0	0	1	0	2	0.00%	18	100.00%
	0	0	1	1	4	0.00%	20	100.00%
	0	1	0	0	6	20.00%	22	80.00%
	0	1	0	1	5	4.00%	21	96.00%
	0	1	1	0	7	0.00%	23	100.00%
	0	1	1	1	9	0.00%	25	100.00%
	1	0	0	0	8	20.00%	24	80.00%
	1	0	0	1	10	4.00%	26	96.00%
	1	0	1	0	12	0.00%	28	100.00%
	1	0	1	1	11	0.00%	27	100.00%
	1	1	0	0	13	4.00%	29	96.00%
	1	1	0	1	15	0.80%	31	99.20%
	1	1	1	0	14	0.00%	30	100.00%
	1	1	1	1	16	0.00%	32	100.00%

Na Tabela 3.5, demonstramos um resumo com as observações de disfunções mecânicas, principalmente relatadas pelos condutores aos técnicos de reparo. As observações, por exemplo: fumaça branca, fumaça preta, não exige avançado conhecimento técnico e podem ser feitas pelo condutor. Conforme a Tabela que construímos, podemos correlacionar a observação aos sistemas que podem ter componentes que causam a disfunção.

3.5 Planilha de correlação entre as observações e os sistemas do veículo

Através do conhecimento do especialista, da consulta de manuais de manutenção e de livros sobre motor Diesel (BOSCH, 2005) (BOULANGER, 1978) (PUGLIESI, 1976) (GARRETT STEEDS NEWTON) (TAYLOR, 1985) concluímos a Tabela 3.5. Ela descreve a relação entre as observações e os sistemas. Esta abordagem possibilita que o conhecimento a priori do comportamento do veículo seja utilizado e favoreça o processo de diagnóstico.

Para um melhor entendimento utilizemos o seguinte exemplo: o motorista leva o veículo a um centro de reparos e relata a observação que o veículo apresenta consumo de combustível excessivo, e solicita ao especialista em reparo que seja verificado a causa deste problema. De posse da Tabela 3.5 o especialista verifica que os sistemas mais prováveis de causar este problema são os sistemas de admissão, arrefecimento, combustível, elétrico do motor, elétrico do veículo e motor básico.

Atualmente esta análise é feita de forma subjetiva e varia em função do conhecimento do especialista em diagnóstico veicular. A Tabela 3.5 possibilita transformar o conhecimento desta relação disponível a todos que atuam no segmento, auxiliando inclusive as pessoas que não possuam conhecimento técnico e necessitem de auxílio em problemas de reparo de seus veículos.

O manual da empresa Cummins (CUMMINS, 2002) foi o principal documento de consulta de quais sistemas são relacionados a cada uma das observações. Podemos afirmar que a Tabela 3.5 é um resumo do manual Cummins de manutenção em relação aos sistemas pertinentes às observações de falha.

Durante o desenvolvimento do sistema RBDV um dos desafios era validar o sistema. A metodologia que utilizamos foi a de efetuar alguns testes práticos de simulação de falha do veículo e também utilizar o manual do fabricante de motores Cummins (CUMMINS, 2002) para validar a RBDV, sendo dada ao manual do fabricante tal credibilidade em virtude de ter sido desenvolvido para atender todos os clientes que utilizam seu motor. A empresa Cummins atende com este documento diversas montadoras, centros de serviço de manutenção em todo o mundo e foi desenvolvido e revisado por um grande número de profissionais que o conhecem e o utilizam de forma prática. Além disto, o especialista que desenvolveu o sistema RBDV, baseado em sua experiência profissional, concorda com a indicação deste manual,

pois o sistema está em uso a tempo razoável e passa por testes práticos no mundo todo.

A pergunta que pode surgir é então qual a necessidade ou vantagem de utilizarmos o sistema RBDV. Demonstraremos as vantagens do sistema RBDV no Capítulo 4, por meio da demonstração dos testes com o sistema e o diagnóstico a partir do manual Cummins.

Tabela 3.5 - Planilha de correlação entre as observações e os sistemas do veículo.

Item	Observações	Sistema					
		Admissão	Arrefecimento	Combustível	Elétrico do motor	Elétrico do veículo	Motor básico
	Consumo de combustível excessivo	X		X	X	X	X
	Dificuldade para o motor iniciar funcionamento ou não reinicia	X				X	X
	Emissão excessiva de Gases pelo "Blowby"						X
	Fumaça branca			X	X		X
	Fumaça preta	X		X	X		X
	Oleo lubrificante contaminado com líquido de arrefecimento						X
	Resposta inadequada a solicitação aceleração	X		X	X		X
	Ruído excessivo do motor	X					X
	Superaquecimento do líquido de arrefecimento	X			X		X
	Vazamento de líquido de arrefecimento externo		X				X
	Vazamento de líquido de arrefecimento Interno						X
	Vibração excessiva do motor		X				X
	Fusíveis ou reles danificados				X	X	

Tabela 3.5 - Planilha de correlação entre as observações e os sistemas do veículo

4 Testes de verificação da eficiência da rede bayesiana de diagnóstico veicular (RBDV)

Neste Capítulo iremos apresentar os testes efetuados com a RBDV demonstrando a capacidade da rede em efetuar o processo de diagnóstico veicular.

Na Tabela 4.2 temos a entrada de dados com os componentes e sistemas que compõem a RBDV, cuja descrição dos campos está na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Tabela de explicação dos campos dos dados da de entrada da RBDV .

Campo	Descrição do campo da tabela de entrada de dados a priori
Variável (nó)	Relaciona a qual sistema do veículo a variável pertence
Fatores condicionais	Descrição dos nomes das variáveis
Tipo	Identifica se a variável é uma observação, componente, sistema ou um índice do componente;
Probabilidade de ligação	Aplica-se o grau de relevância de cada item da RBDV
Prob. Funcionar	Descrição da probabilidade a priori da variável funcionar

Os dados a priori da RBDV foram organizados na Tabela 4.2, por meio de uma planilha eletrônica que possibilita que as probabilidades a priori sejam visualizadas e modificadas em uma única Tabela. Foi construída uma ligação entre a Tabela 8 e o programa RBDV no Javabeyes, que possibilita a atualização das probabilidades a priori do programa.

Tabela 4.2 - Entrada de dados da RBDV .

Variável (nó)	Fatores Condicionais	Tipo	Probabilidade de ligação	Prob. Funcionar	Prob. Falha
Sistema_de_combustível	Injetores	Componente	9	0.98	0.02
Sistema_de_combustível	Filtro_de_combustível	Componente	7	0.98	0.02
Sistema_de_combustível	Linha_de_baixa_pressao	Componente	7	0.98	0.02
Sistema_elétrico/eletrônico_do_motor	Chicote_do_motor	Componente	8	0.98	0.02
Sistema_elétrico/eletrônico_do_motor	Sensores_e_atuadores	Componente	8	0.98	0.02
Sistema_elétrico/eletrônico_do_motor	Módulo_do_Motor_(ECM)	Componente	10	0.98	0.02
Sistema_de_arrefecimento	Radiador	Componente	8	0.98	0.02
Sistema_de_arrefecimento	Valvula_termostatica	Componente	8	0.98	0.02
Sistema_de_arrefecimento	Bomba_dagua	Componente	10	0.98	0.02
Sistema_elétrico_do_veículo	Rele_do_veiculo	Componente	9	0.98	0.02
Sistema_elétrico_do_veículo	Bateria	Componente	7	0.98	0.02
Sistema_elétrico_do_veículo	Alternador	Componente	8	0.98	0.02
Sistema de admissao	Turbo_compressor	Componente	8	0.98	0.02
Sistema de admissao	Linha_de_admissao	Componente	7	0.98	0.02
Sistema de admissao	Filtro_de-ar	Componente	6	0.98	0.02
Turbo_compressor	Diagnóstico prévio	Índice	7	0.98	0.02
Turbo_compressor	R/1000	Índice	9	0.98	0.02
Turbo_compressor	Quilometragem da peça	Índice	8	0.98	0.02
Linha_de_admissao	Diagnóstico prévio	Índice	8	0.98	0.02
Linha_de_admissao	R/1000	Índice	7	0.98	0.02
Linha_de_admissao	Quilometragem da peça	Índice	6	0.98	0.02
Radiador	Diagnóstico prévio	Índice	9	0.98	0.02
Radiador	R/1000	Índice	7	0.98	0.02
Radiador	Quilometragem da peça	Índice	8	0.98	0.02
Rele_do_veiculo	Diagnóstico prévio	Índice	9	0.98	0.02
Rele_do_veiculo	R/1000	Índice	8	0.98	0.02
Rele_do_veiculo	Quilometragem da peça	Índice	5	0.98	0.02
Injetores	Diagnóstico prévio	Índice	9	0.98	0.02
Injetores	R/1000	Índice	7	0.98	0.02
Injetores	Quilometragem da peça	Índice	5	0.98	0.02
Linha_de_baixa_pressao	Diagnóstico prévio	Índice	6	0.98	0.02
Linha_de_baixa_pressao	R/1000	Índice	8	0.98	0.02
Linha_de_baixa_pressao	Quilometragem da peça	Índice	5	0.98	0.02
Alternador	Diagnóstico prévio	Índice	8	0.98	0.02
Alternador	R/1000	Índice	7	0.98	0.02
Alternador	Quilometragem da peça	Índice	6	0.98	0.02

Sensores_e_atuadores	Diagnóstico prévio	Índice	8	0.98	0.02
Sensores_e_atuadores	R/1000	Índice	9	0.98	0.02
Sensores_e_atuadores	Quilometragem da peça	Índice	5	0.98	0.02
Bateria	Diagnóstico prévio	Índice	10	0.98	0.02
Bateria	R/1000	Índice	8	0.98	0.02
Bateria	Quilometragem da peça	Índice	10	0.98	0.02
Valvula_termostática	Diagnóstico prévio	Índice	9	0.98	0.02
Valvula_termostática	R/1000	Índice	8	0.98	0.02
Valvula_termostática	Quilometragem da peça	Índice	8	0.98	0.02
Bomba_dagua	Diagnóstico prévio	Índice	8	0.98	0.02
Bomba_dagua	R/1000	Índice	9	0.98	0.02
Bomba_dagua	Quilometragem da peça	Índice	6	0.98	0.02
Filtro_de-ar	Diagnóstico prévio	Índice	8	0.98	0.02
Filtro_de-ar	R/1000	Índice	6	0.98	0.02
Filtro_de-ar	Quilometragem da peça	Índice	10	0.98	0.02
Módulo_do_Motor_(ECM)	Diagnóstico prévio	Índice	7	0.98	0.02
Módulo_do_Motor_(ECM)	R/1000	Índice	8	0.98	0.02
Módulo_do_Motor_(ECM)	Quilometragem da peça	Índice	5	0.98	0.02
Filtro_de_combustivel	Diagnóstico prévio	Índice	7	0.98	0.02
Filtro_de_combustivel	R/1000	Índice	6	0.98	0.02
Filtro_de_combustivel	Quilometragem da peça	Índice	10	0.98	0.02
Chicote_do_motor	Diagnóstico prévio	Índice	10	0.98	0.02
Chicote_do_motor	R/1000	Índice	8	0.98	0.02
Chicote_do_motor	Quilometragem da peça	Índice	6	0.98	0.02
Sistema_elétrico_do_veículo	Radio	Observação	7	0.98	0.02
Motor_básico	Ruido_de_batidas internas	Observação	8	0.98	0.02
Sistema_elétrico/eletrônico_do_motor	Sinal_de_funcionamento_atuadores_e_sensores	Observação	7	0.98	0.02
Sistema_de_combustível	Vazamento_combustivel	Observação	8	0.98	0.02
Sistema de admissao	Vazamento_de_ar	Observação	7	0.98	0.02
Motor_básico	Vazamento_de_oleo_lubrificante	Observação	9	0.98	0.02
Sistema_de_arrefecimento	Vazamento_liq_Arref.	Observação	8	0.98	0.02
Motor	Quilometragem_acumulada	Observação	6	0.98	0.02
Motor	Aviso_painel_Instrumentos	Observação	6	0.98	0.02
Motor	Motor_básico	Sistema	10		
Motor	Sistema_de_admissão/escape_de_ar	Sistema	8		
Motor	Sistema_de_arrefecimento	Sistema	8		
Motor	Sistema_de_combustível	Sistema	9		

Na Tabela 4.2 os valores preenchidos nos campos probabilidades de falha dos componentes e fatores de probabilidade de ligação são fornecidos por um especialista em engenharia automotiva.

Na Seção 4.1 (abaixo) mostramos testes de verificação da capacidade da RBDV em efetuar o diagnóstico veicular de falhas.

Testes com a RBDV

O primeiro teste realizado neste Capítulo elucidada uma situação em que o veículo apresenta excesso de fumaça branca emitido pelo motor Diesel. Esta falha ocorreu em uma frota de veículos que (por motivo de sigilo industrial) não pode ser citada sobre sua origem e quantidade de veículos.

Para encontrar a causa do problema, o fabricante de motores Cummins, em seu manual de reparos e diagnóstico (CUMMINS, 2002), recomenda em síntese a seguinte seqüência de verificação para detecção da causa da fumaça branca:

Tabela 4.3 – Tabela de referência de diagnóstico Cummins (CUMMINS, 2002).

Item:	Possíveis causas da disfunção:	Sistema ao qual o componente causador pertence:
1	Códigos de falha eletrônicos ativos ou altas contagens de códigos de falha inativos;	Sistema eletro/eletrônico do motor
2	O motor está frio;	Motor básico
3	O motor está operando a baixa temperatura ambiente;	Motor básico
4	Falha de funcionamento do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento;	Sistema eletro/eletrônico do motor
5	Falha do sensor de pressão do coletor de admissão;	Sistema eletro/eletrônico do motor
6	A classificação do combustível não é correta para a aplicação, ou o combustível é de má qualidade;	Sistema de combustível
7	O filtro de combustível está obstruído;	Sistema de combustível
8	Restrição de entrada de combustível;	Sistema de combustível
9	Presença de ar no sistema de combustível;	Sistema de combustível
10	Falha de funcionamento dos injetores;	Sistema de combustível
11	Dano interno do motor.	Motor básico

Um ponto interessante a ressaltar é que, para a disfunção fumaça branca, tanto o manual Cummins citado na Tabela 4.3, quanto a Tabela 3.5 que descreve a correlação entre as observações e os sistemas do veículo, indicam os mesmos sistemas do veículo a serem verificados. Esta semelhança de indicação se faz presente também para outras disfunções, pelo fato de que a origem da Tabela 3.5 é o manual da Cummins de diagnóstico somado ao conhecimento do especialista automotivo, além do fato de que a opinião técnica de ambos não conflite.

Para o processo diagnóstico utilizando o sistema RBDV foram feitas as seguintes ações:

Verificou-se na Tabela 3.5 que, para a observação de fumaça branca, os seguintes sistemas são elucidados como mais prováveis de causar esta disfunção: sistema de combustível, sistema elétrico do motor e motor básico.

Utilizando esta indicação da Tabela 3.5, efetuando as observações nas variáveis do

tipo observação dos sistemas: sistema de combustível, sistema elétrico do motor e motor básico obteve-se os resultados obtidos das probabilidades de falhas estão descritos nas Figuras 4.1 e 4.2.

Na Figura 4.1 estão representadas as probabilidades de falha dos sistemas obtidas pela RBDV (Figura 3.3) sem que nenhuma observação seja efetuada, ou seja, a consulta foi realizada somente com os dados a priori atribuídos à rede. Nesta condição, os resultados de probabilidades obtidos da RBDV são provenientes dos dados a priori da Tabela 4.2 de entrada de dados e não sofrem alteração da observação da disfunção fumaça branca.

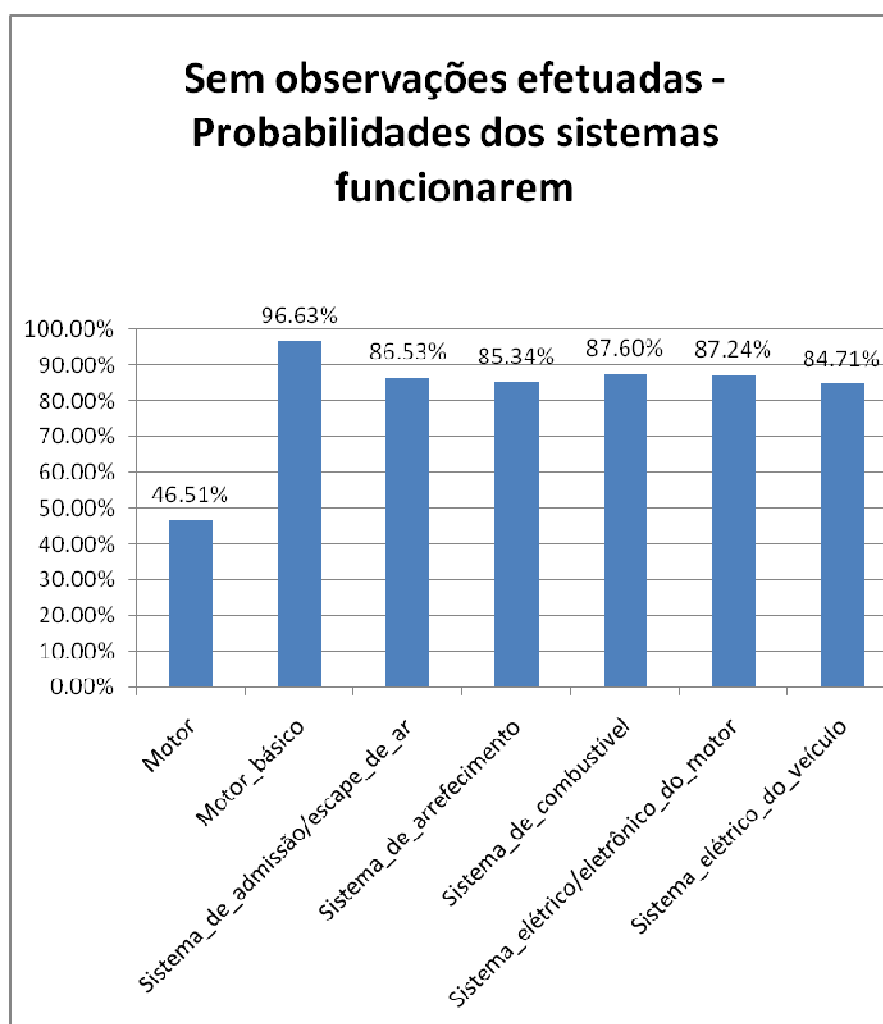


Figura 4.1- Probabilidades de funcionarem sem que nenhuma observação seja efetuada na RBDV .

A Figura 4.2 apresenta as respostas da RBDV para as consultas aos nós: “Motor_básico”, "Sistema_elétrico/eletrônico_do_motor” e “Sistema_de_combustível”, com

as variáveis como evidências (dado fumaça branca) descritas na tabela 4.4. Quando citamos que foi efetuada a observação, isto indica que a variável da RBDV construída no programa Javabayes tem sua probabilidade alterada. Por exemplo, na Tabela 4.5 demonstram-se as probabilidades dos sistemas funcionarem antes e depois de efetuadas as observações, sendo que depois de efetuadas, as probabilidades da variável observada têm o valor igual a zero ou um.

Tabela 4.4 – Tabela com as observações das variáveis para consulta à rede .

Variável	Observação
Vazamento_de_óleo_lubrificante	Não identificada
Ruido_do_motor_diferente_do_padrão_de_funcionamento	Apresenta
Vazamento_de_combustível	Apresenta
Quilometragem_acumulada	Apresenta
Aviso_painel_instrumentos	Não Apresenta

Vale ressaltar que foi adicionado à rede o conceito de que além de vazamentos e ruídos os nós irão servir para observação de disfunção ao sistema estudado. Por exemplo, apesar de estar descrito “vazamento de combustível” no campo “variável” da Tabela 4.4, este nó é utilizado para informar a rede, de forma geral, sobre outras disfunções do sistema de combustível, sendo utilizado o mesmo raciocínio para as demais variáveis dos sistemas existentes na rede.

Tabela 4.5 – Tabela com as probabilidades dos sistemas funcionarem antes de efetuar a observação e após efetuar as observações .

Variável (nó)	Tipo	Relevância	Antes de efetuar a Observação		Após efetuar a Observação	
			Probabilidade de Funcionar	Probabilidade de Falha	Probabilidade de Funcionar	Probabilidade de Falha
Motor_básico	Observação	8	0.98	0.02	0	1
Sistema_elétrico/eletrônico_do_motor	Observação	7	0.98	0.02	0	1
Sistema_de_combustível	Observação	8	0.98	0.02	0	1

No caso real, o veículo apresentava a disfunção de fumaça branca, não apresentava aviso de falha no painel de instrumentos e a quilometragem estava na faixa "mortalidade infantil", conforme a teoria da curva da banheira explicada na Seção 3.2.2, por estes motivos também foram feitas observações nestes itens.

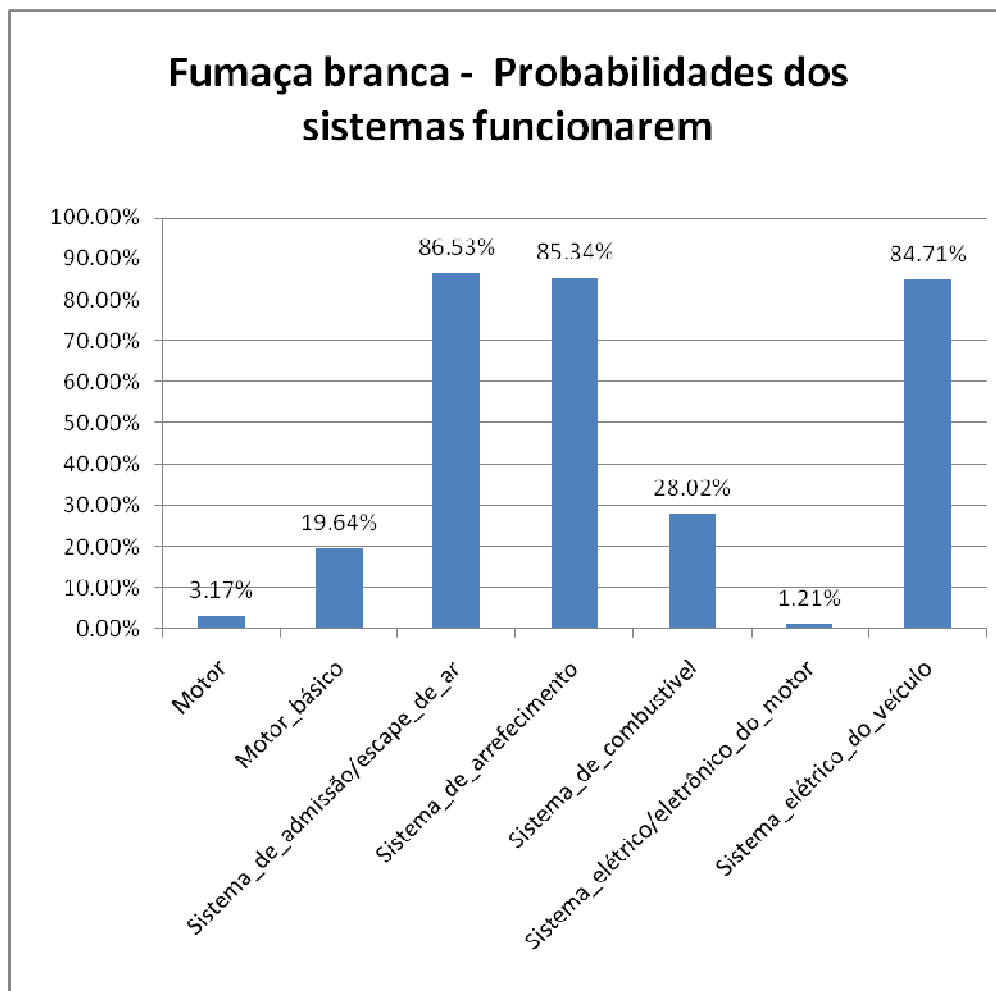


Figura 4.2- Probabilidades dos sistemas funcionarem, dado o fato dos veículos apresentarem fumaça branca, observação efetuada na RBDV .

Mostramos na Figura 4.3 um comparativo mais detalhado sobre os resultados descritos nas Figuras 4.1 e 4.2, que representam a probabilidade de falha dos sistemas do veículo para situação da RBDV em duas situações: sem nenhuma observação e com observações relativas à fumaça branca.

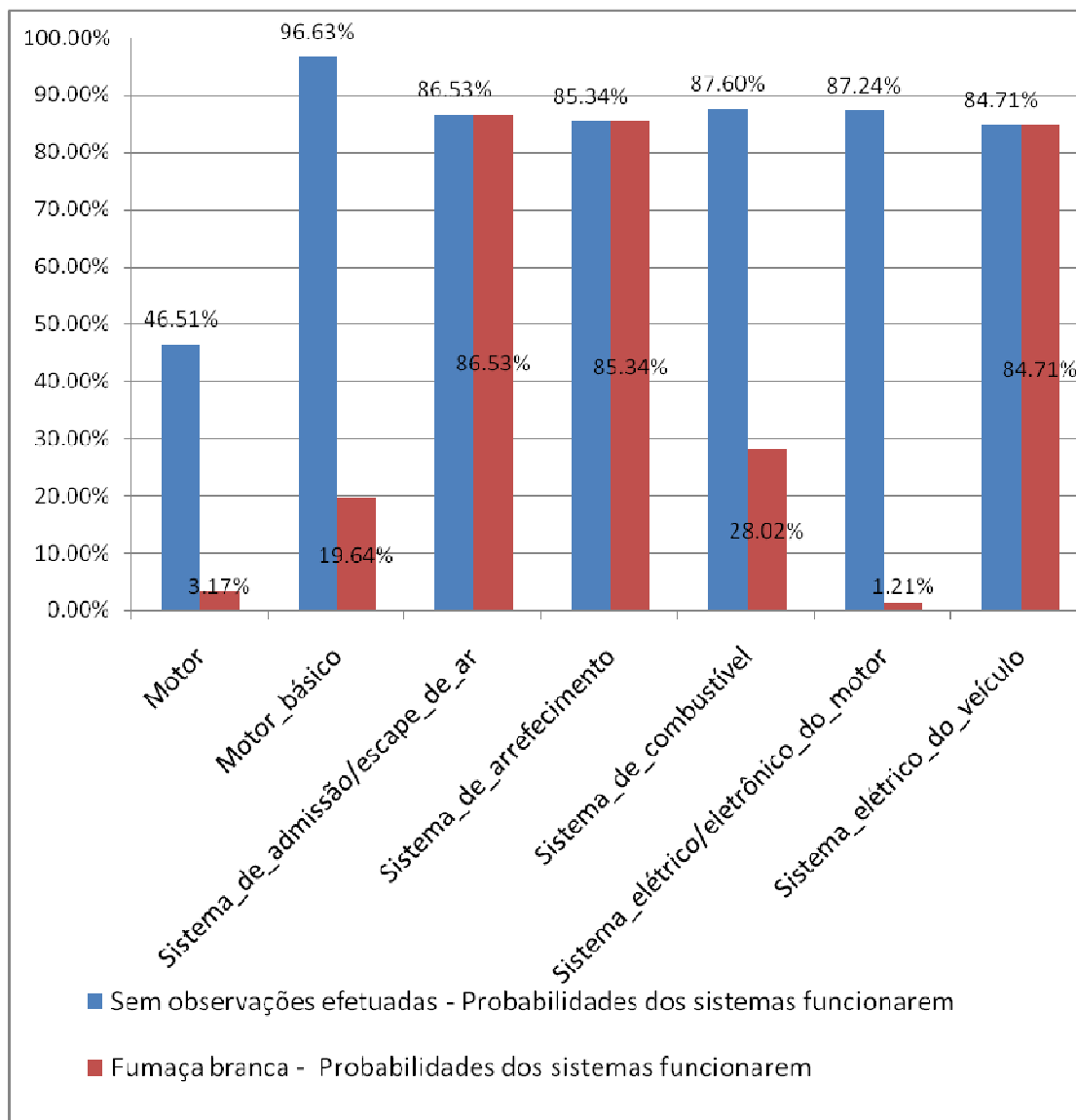


Figura 4.3- Diferença de valor de probabilidade nos sistemas .

Analisando o gráfico da Figura 4.3 verifica-se a diferença de valor de probabilidade nos sistemas: sistema de combustível, sistema elétrico do motor e motor básico.

Esta diferença de probabilidade de funcionar, para estes sistemas, correspondeu às expectativas do especialista.

Para continuar o processo de diagnóstico, propõem-se a utilização do diagrama de Pareto (KOCK, 2006), dando prioridade na busca pelo defeito aos sistemas com maior probabilidade de falha (Figura 4.4).

Demonstra-se na Figura 4.4 que as variáveis: sistema elétrico/eletrônico do motor; motor básico e sistema de combustível possuem respectivamente maior probabilidade de falha que os demais sistemas do veículo. Esta maior probabilidade de falha destes sistemas,

demonstradas nas Figuras 4.2 e 4.3, confirmam as expectativas do especialista automotivo e também repete as afirmações do manual da empresa Cummins (Tabela 4.3).

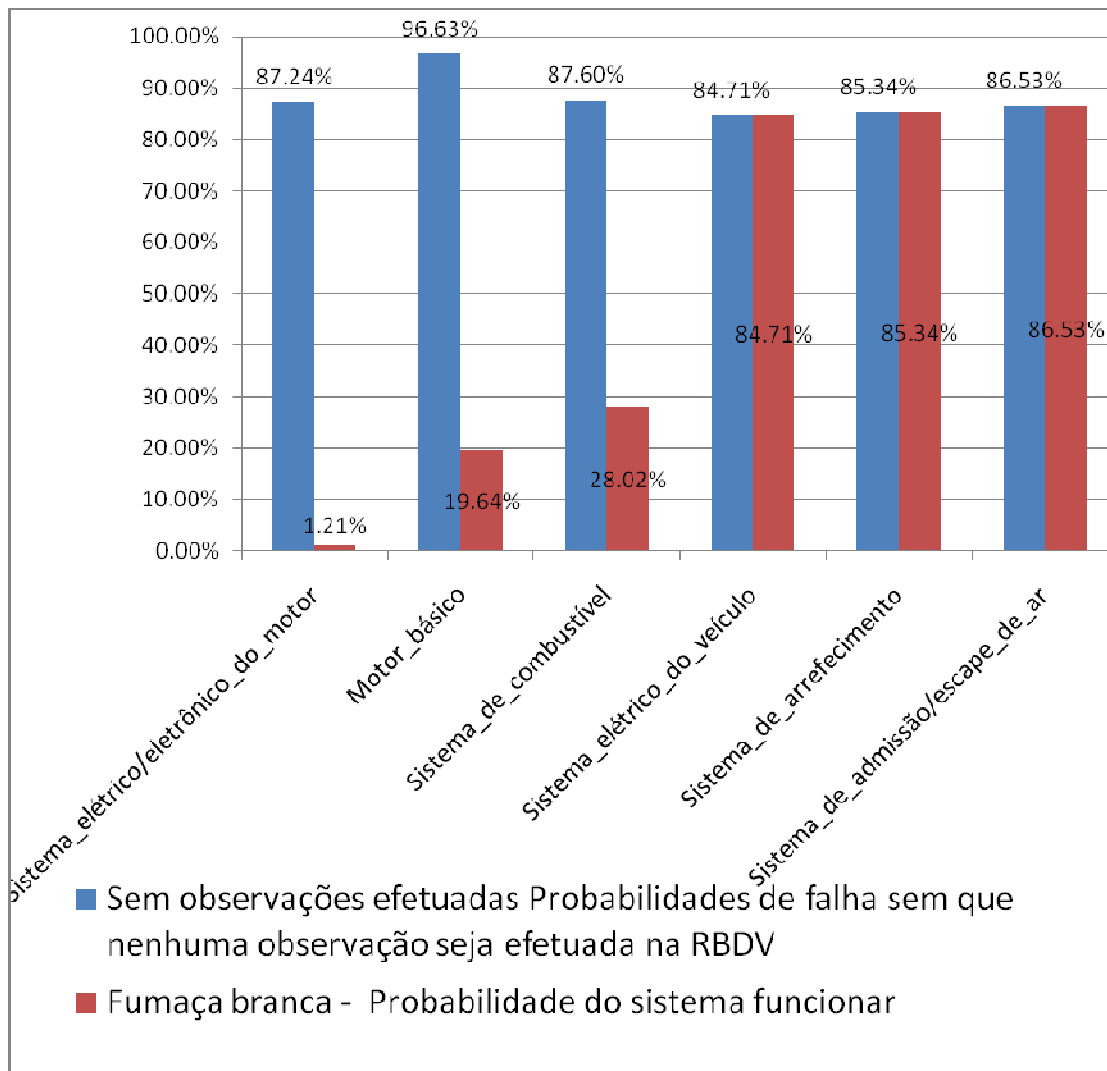


Figura 4.4- Diagrama de Pareto dos sistemas com maior probabilidade de falha .

Após a análise e comparação realizada na Figura 4.4, verificamos inicialmente o sistema elétrico/eletrônico do motor.

Demonstra-se, na Figura 4.5, o ramo da RBDV correspondente ao sistema elétrico/eletrônico do motor, construído no programa JavaBayes.

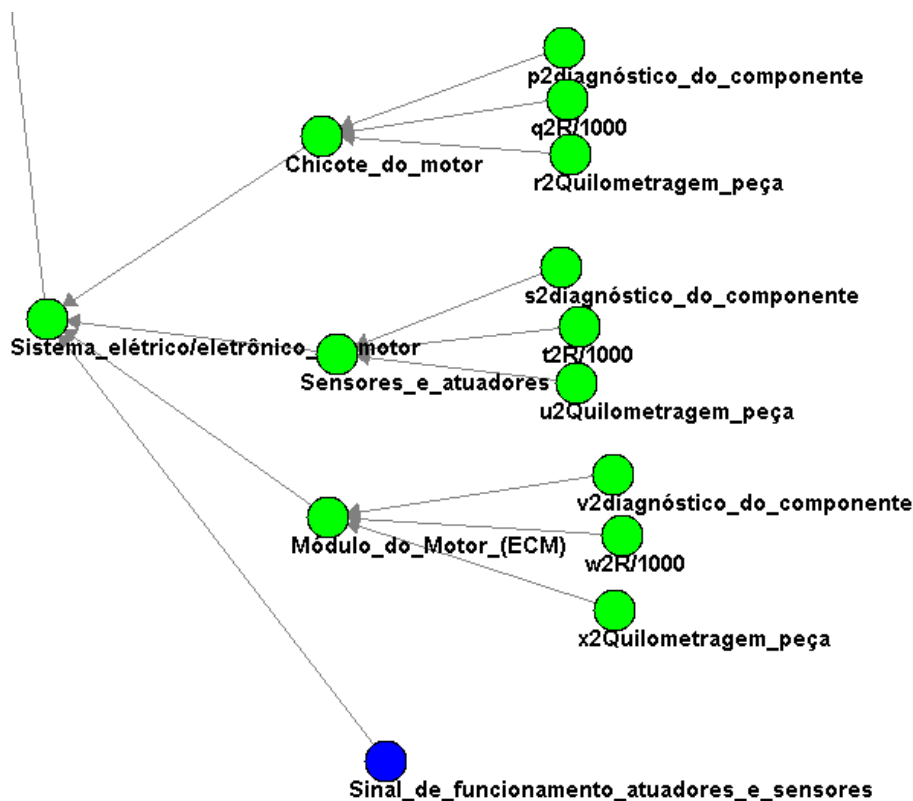


Figura 4.5: RBDV sem observações .

As probabilidades de falha do sistema elétrico eletrônico do motor, quando não efetuada nenhuma observação, são demonstradas na Tabela 4.5. Nesta mesma Tabela, constam os valores relacionados à probabilidade a priori das variáveis “chicote do motor”, “sensores atuadores” e “módulo do motor (ECM)”, que possuem como nós pais os índices “número de falhas para cada mil veículos vendidos”, (R/1000) anteriormente mencionado, “quilometragem da peça” e “diagnóstico prévio”.

Tabela 4.6 – Tabela com os resultados da probabilidade de funcionamento do sistema elétrico/eletrônico do motor da RBDV.

Variável	Valor de probabilidade
q2R/1000 (que indica o R/1000 do componente chicote do motor)	0,98 (a priori)
t2R/1000 (que indica o R/1000 do componente sensores e atuadores)	0,999 (a priori)
w2R/1000 (que indica o R/1000 do componente módulo do motor ECM)	0,9999 (a priori)
P(Sistema_elétrico/eletrônico funcionar Chicote_do_motor (sem observação))	0,943
P(Sistema_elétrico/eletrônico funcionar Sensores_e_atuadores (sem observação))	0,963
P(Sistema_elétrico/eletrônico funcionar Módulo_do_Motor_(ECM) (sem observação))	0,967

Utilizando o mesmo critério de verificação dos sistemas, para checar os componentes do sistema elétrico/eletrônico do motor, iniciamos a verificação pelos componentes com maior probabilidade de falha que conforme os dados da Tabela 4.6 seguem a respectiva ordem (utilizando o conceito do diagrama de Pareto, então, iniciamos a pesquisa pela variável que tem a maior chance de não funcionar para depois pesquisar a que tem menor chance de não funcionar): “chicote do motor”, “sensores_e_atuadores” e “módulo do motor (ECM)”.

Na Figura 4.6 demonstramos a rede com algumas observações descritas na Tabela 4.7 levando em consideração a ordem descrita no parágrafo anterior. Logo, descartando a hipótese do sistema elétrico / eletrônico do motor apresentar problemas, partimos então para a próxima verificação em outro sistema do motor e assim por diante até encontrarmos o problema.

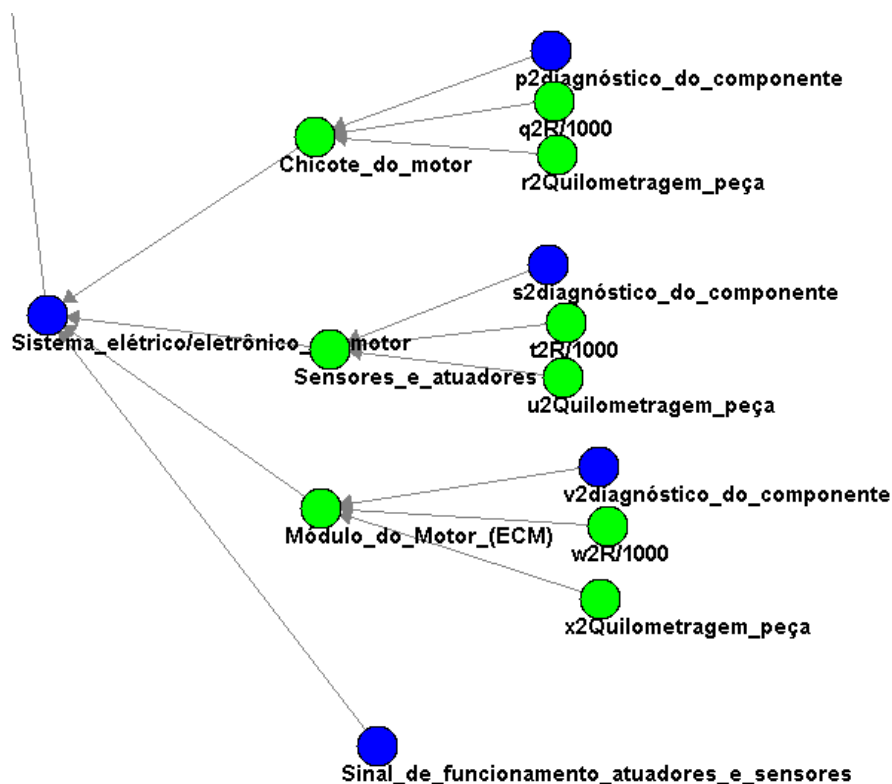


Figura 4.6: Sistema elétrico/eletrônico do motor diagnosticado sem defeitos .

Tabela 4.7 – Tabela com os resultados da probabilidade de funcionamento do sistema elétrico/eletrônico do motor da RBDV.

Variável	Observação
Sistema_eletrico_eletronico_do_motor	Não apresenta defeito
p2diagnóstico_do_componente	Não apresenta defeito
q2R/1000	Não identificada
r2quilometragem_peça	Não identificada
s2diagnóstico_do_componente	Não apresenta defeito
t2R/1000	Não identificada
u2quilometragem_peça	Não identificada
v2diagnóstico_do_componente	Não apresenta defeito
w2R/1000	Não identificada
x2quilometragem_peça	Não identificada
Sinal_de_funcionamento_atuadores_e_sensores	Não apresenta defeito

A etapa seguinte, então, foi verificar os componentes do sistema motor básico observando o nó “Ruído_do_motor_diferente_do_padrão_de_funcionamento” como que apresenta o problema. Em seguida perguntamos à rede qual a probabilidade do “motor_básico” funcionar dado as evidências. A Figura 4.8 elucida a resposta.

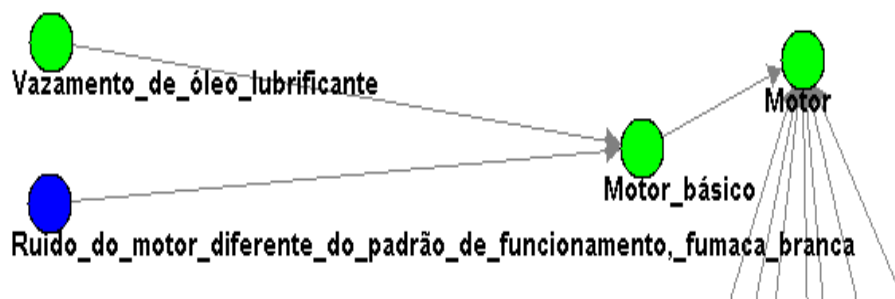


Figura 4.7: Sistema Motor básico .

Verificando o motor básico (Figura 4.7), constatou-se uma falha dimensional de um componente que comprometia o sincronismo do motor como mostra a Figura 4.8 com o valor de 0.9016 para o motor apresentar defeito.

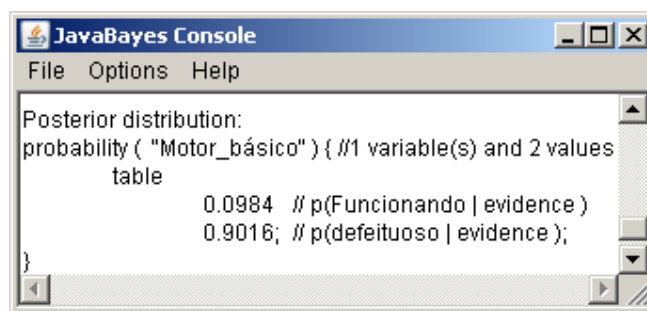


Figura 4.8: resposta da P(Motor_basico funcionar |Ruído_do_motor_diferente_do_padrão_de_funcionamento, fumaca_branca).

Deste modo, a causa do problema foi encontrada, e ações de correção foram tomadas de modo que o problema foi corrigido em toda a frota.

Da mesma forma que o diagnóstico foi realizado para detecção da causa da disfunção da fumaça branca, também foram feitas simulações (demonstradas na Tabela 4.7) de outros tipos de falha, tendo sido o resultado emitido pela RBDV confrontado com as expectativas do especialista automotivo e também com as instruções de verificação do manual do fabricante

de motores Cummins, atendendo às expectativas de diagnosticar os sistemas mais prováveis de falha e o componente causador da falha.

Foram realizadas diversas consultas à rede como mostramos nas Figuras 4.7 e 4.8 e agrupamos na Tabela 4.8 as respostas da rede com os valores de probabilidades de falhas dos sistemas do veículo para verificação das disfunções: fumaça branca, vazamento do líquido de arrefecimento e baixo desempenho. Novamente, por sigilo industrial, as informações da quantidade de veículos testados e detalhes da origem não foram divulgados.

Tabela 4.8 – Tabela com as probabilidades de falha dos sistemas do veículo por meio de testes com a RBDV para verificação das disfunções: fumaça branca, vazamento do líquido de arrefecimento e baixo desempenho .

	Sem observações efetuadas -	Fumaça branca -	Vazamento liq. Arrefecimento -	Baixo desempenho
	Probabilidades dos sistemas funcionarem	Probabilidades dos sistemas funcionarem	Probabilidades dos sistemas funcionarem	Probabilidades dos sistemas funcionarem
Motor	46.51%	3.17%	2.75%	0.18%
Motor básico	96.63%	19.64%	19.64%	9.84%
Sistema de admissão/escape de ar	86.53%	86.53%	86.53%	19.00%
Sistema de arrefecimento	85.34%	85.34%	1.14%	85.34%
Sistema de combustível	87.60%	28.02%	87.60%	28.02%
Sistema elétrico/eletrônico do motor	87.24%	1.21%	87.24%	0,011
Sistema elétrico do veículo	84.71%	84.71%	84.71%	84.71%

Nas Figuras 4.9 e 4.10 são demonstradas as diferenças de probabilidade de falha entre os sistemas do veículo, tendo como base as observações na RBDV as disfunções: vazamento do líquido de arrefecimento e baixo desempenho.

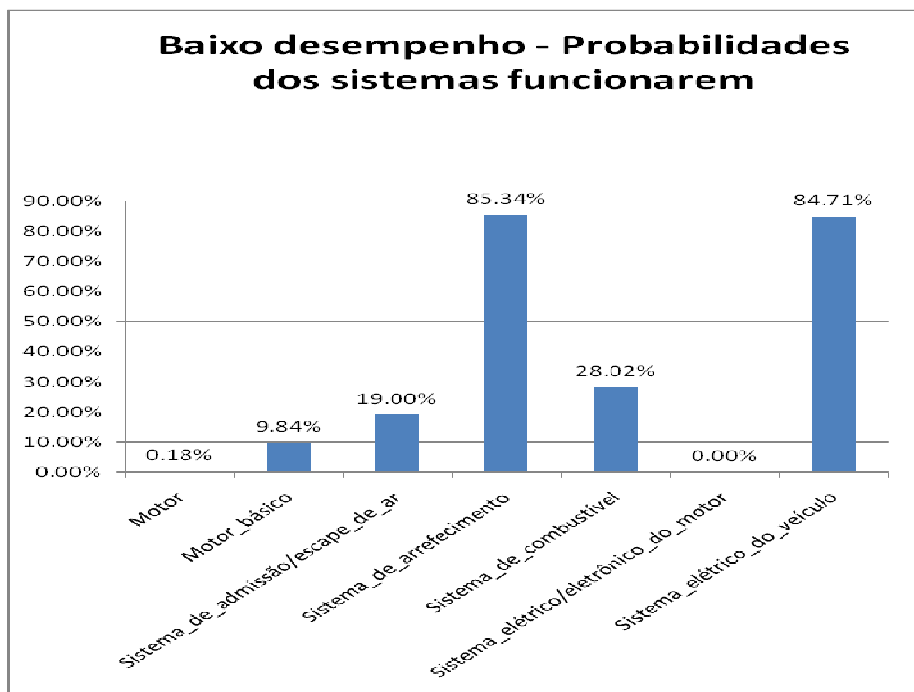


Figura 4.9- Probabilidades dos sistemas funcionarem, dado o fato dos veículos apresentarem baixo desempenho, observação efetuada na RBDV .

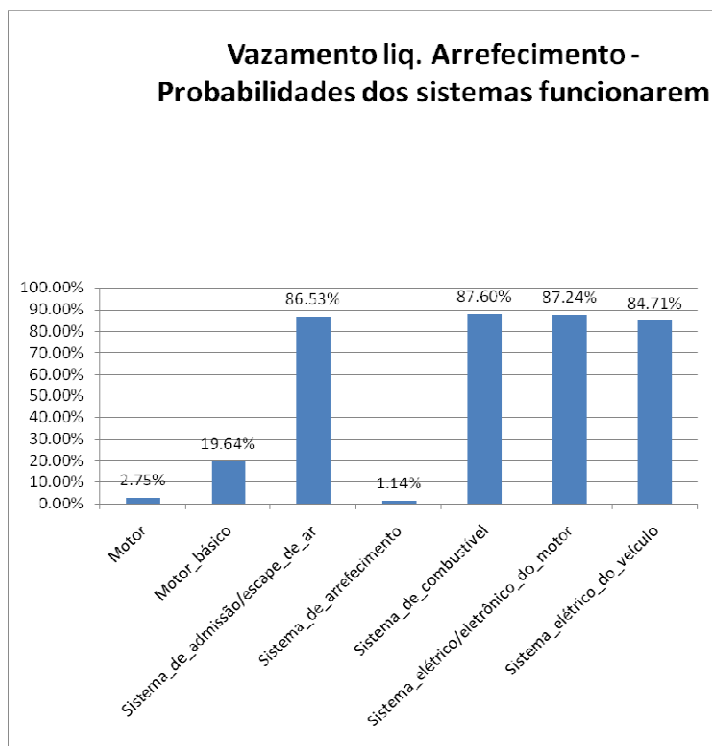


Figura 4.10- Probabilidades dos sistemas funcionarem, dado o fato dos veículos apresentarem vazamento do líquido de arrefecimento, observação efetuada na RBDV .

Conforme podemos verificar na Tabela 4.7, a RBDV consegue demonstrar (por meio das observações) quais os sistemas mais prováveis de falha, sendo estas probabilidades coincidentes com a indicação do manual Cummins e também às expectativas do especialista automotivo.

Para complementar o processo vale ressaltar que, quando analisado os componentes de um determinado sistema, os dados a priori são os determinantes da probabilidade de falha do componente, as variáveis R/1000, quilometragem da peça e diagnóstico prévio são os nós pais do componente e influenciam diretamente a probabilidade de falha do componente.

Na Tabela 4.7 pode-se verificar que os valores de R/1000 influenciam diretamente no valor da probabilidade de falha do componente, sendo conclusivo o fato que o componente que apresenta maior incidência de falhas em campo possui maior R/1000 e conseqüente maior probabilidade de falha.

O processo de busca pelo defeito no exemplo da disfunção "fumaça branca" é o mesmo a ser utilizado para as demais disfunções. No próximo Capítulo são relatadas as conclusões sobre a RBDV e também expostas as possibilidades de trabalhos futuro

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O objetivo principal desta dissertação foi atingido com o desenvolvimento de uma rede Bayesiana que diagnostica defeitos em veículos, sendo que conforme a (Figura 2.1), consideramos como sua principal contribuição a possibilidade de reunir conhecimentos: observações do condutor, histórico de falhas, experiência dos especialistas automotivos, literaturas técnicas, sistemas comercialmente disponíveis de leitura do código de falhas do tipo “OBD” e “off-board”. Isso possibilita que o conhecimento (quando tácito) se transforme em explícito na busca pela causa do defeito.

O conhecimento tácito proveniente da percepção de disfunções como, por exemplo, fumaça branca, baixo desempenho, vazamentos, dentre outras percepções foram transformadas em explícitas, possibilitando que o relato do motorista seja levado em consideração e contribua no processo de diagnóstico. Para o cálculo da probabilidade de falha dos componentes, foram utilizados os índices de defeito dos componentes do veículo, que são indicadores de qualidade controlados pelas montadoras de veículos sobre qual a incidência de falha dos componentes em período de garantia.

Na Rede Bayesiana criada, os nós foram agrupados por sistemas do veículo, possibilitando que futuramente outros sistemas sejam adicionados e que a complexidade de adicionar ou retirar um nó da rede seja pequena. Por meio do conceito de probabilidade de ligação das variáveis do sistema RBDV, foi obtida a possibilidade de expressar na rede a diferenciação da influência dos nós pais sobre os nós filhos, por exemplo: verificando o sistema de arrefecimento e utilizando o conceito de probabilidade de ligação, é possível diferenciar o impacto da falha dos componentes aplicando o conhecimento do especialista automotivo que considera a falha do componente bomba d`água (por exemplo) mais severo, que a falha da válvula termostática. Este calculo é feito na rede por meio dos valores de probabilidade de ligação.

Além de a RBDV possuir a capacidade de efetuar diagnóstico veicular, foi também obtido por meio da rede um índice de confiabilidade do conjunto motor e dos sistemas, podendo este valor ser utilizado com um novo índice de confiabilidade que traduz por meio dos dados a priori a confiabilidade de um sistema.

Por exemplo, na Figura 4.1 ficou constatada a probabilidade de funcionamento do conjunto motor em 46,51%, possibilitando que esta informação seja utilizada como um novo índice de confiabilidade do conjunto motor e sistemas correlatos.

Na indústria automobilística os índices de (R/1000) são amplamente utilizados para verificar se o componente necessita de alterações de projeto e/ou processo produtivo. Entretanto, um índice que compõem um valor referente à confiabilidade do conjunto como um todo (no caso o motor ou o próprio veículo), conforme pesquisa bibliográfica, não é disponível atualmente. Este trabalho propõe a definição de um índice que supra essa necessidade.

A utilização deste índice é promissora, sendo necessários trabalhos futuros para desenvolver uma metodologia para interpretá-lo e utilizá-lo diretamente na indústria.

Para a utilização da RBDV foi proposto um fluxo de seqüência de busca pelo defeito, com o objetivo de estabelecer uma rotina para o processo de diagnóstico, evitando que a rede seja utilizada de forma não padronizada.

Em particular, este trabalho é a concretização de um sistema de diagnóstico veicular que supre as necessidades do mercado e complementa os sistemas de diagnósticos já existentes. A necessidade deste sistema foi constatada ao longo dos projetos atuando como engenheiro de produto no segmento automotivo, desenvolvendo novos modelos de veículos, presenciou em muitas ocasiões troca de componentes por meio de métodos infundados de busca pelo defeito, além da falta de uma metodologia que pudesse reunir informações que auxiliassem o processo de diagnóstico veicular. Vale ressaltar que esta vivência se fez na engenharia de produto, que dispõe de informações, equipamentos e profissionais experientes que desenvolvem os sistemas do veículo.

Dentre as possibilidades de trabalhos futuros podemos considerar a inserção de mais componentes e outros sistemas do veículo, ampliando a abrangência da RBDV. Considera-se que o aprimoramento da rede irá ser feito com o uso em situações práticas, podendo ser aplicado em sistemas de atendimento ao consumidor e também por meio da utilização de técnicas de aprendizado para aprimorar os parâmetros da rede.

Os dados a priori, atualmente inseridos e alterados por meio de uma Tabela de entrada demonstrada na Tabela 8, podem ser atualizados automaticamente por meio de uma rotina computacional que busca estes índices no banco de dados com os indicadores de qualidade dos componentes do veículo e atualiza a RBDV.

Atualmente no mercado os sistemas disponibilizados de leitura do código de falhas do tipo “OBD” e “OB” (para efetuar o diagnóstico) não levam em consideração as percepções do motorista e os índices de qualidade do componente. O presente trabalho permite o desenvolvimento de um sistema eletrônico que utilize o conceito da RBDV, juntamente com o leitor de código de falhas, o qual a atualização dos dados a priori pode ser efetuada por

diversos meios: comunicação sem fio, atualização nas redes de serviço, dentre outras possibilidades.

Outra possibilidade de trabalhos futuros é o desenvolvimento de uma interface entre o sistema RBDV e a metodologia FMEA (6-SIGMA, 2003), de forma que a RBDV forneça informações ao FMEA e vice-versa, permitindo que a engenharia de desenvolvimento de produto esteja ligada a rede de assistência técnica por meio da RBDV. Um dos principais problemas no desenvolvimento de produto é a falta do desenvolvimento de um FMEA robusto e também o não conhecimento por parte do engenheiro de produto sobre as falhas em campo dos componentes desenvolvido por ele.

6 APÊNDICE 1 TABELAS QUE COMPOEM A RBDV

Conforme descrição na Tabela 4, Seção 3.4, neste apêndice demonstramos as Tabelas em que constam as combinações de estado de funcionamento e não funcionamento dos sistemas que compõem a RBDV, sendo o resultado destas Tabelas as probabilidades de funcionamento dos componentes da rede.

Tabela de combinações e probabilidades da variável motor.

Esta Tabela refere-se ao nó principal de toda RBDV, sendo o nó "motor" filho de todos os sistemas do veículo. Nesta Tabela constam as combinações de estado de funcionamento e não funcionamento dos sistemas que compõem o sistema motor que foi estudado na RBDV.

Tabela A1.1 - Tabela de combinações e probabilidades da variável motor .

Sistema_de_admissão/escape_de_ar	Sistema_de_arrefecimento	Sistema_elétrico/eletrónico_do_motor	Sistema_elétrico_do_veículo	Motor_básico	Sistema_de_combustível	Quilometragem_acumulada	Aviso_painel_Instrumentos	Probabilidade Motor Funciona	Probabilidade Motor Não Funcionar
6	6	8	8	8	9	9	9		
40%	40%	20%	20%	20%	10%	10%	10%		
0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0.0
0	0	0	0	0	0	1	0	0.1	0.9
0	0	0	0	0	0	0	1	0.1	0.9
0	0	0	0	0	0	1	1	0.0	1.0
0	0	0	0	0	1	0	1	0.0	1.0
0	0	0	0	0	1	0	0	0.1	0.9
0	0	0	0	0	1	1	0	0.0	1.0
0	0	0	0	1	0	0	0	0.2	0.8
0	0	0	0	0	1	1	1	0.0	1.0
0	0	0	0	1	0	0	1	0.0	1.0
0	0	0	0	1	0	1	1	0.0	1.0
0	0	0	0	1	0	1	0	0.0	1.0

0	0	1	1	0	1	0	0	0.0	1.0
0	0	1	1	0	1	1	0	0.0	1.0
0	0	1	1	1	0	0	0	0.0	1.0
0	0	1	1	0	1	1	1	0.0	1.0
0	0	1	1	1	0	0	1	0.0	1.0
0	0	1	1	1	0	1	1	0.0	1.0
0	0	1	1	1	0	1	0	0.0	1.0
0	0	1	1	1	1	0	0	0.0	1.0
0	0	1	1	1	1	1	0	0.0	1.0
0	0	1	1	1	1	0	1	0.0	1.0
0	0	1	1	1	1	1	1	0.0	1.0
0	1	0	0	0	0	0	1	0.0	1.0
0	1	0	0	0	0	0	0	0.4	0.6
0	1	0	0	0	0	1	0	0.0	1.0
0	1	0	0	0	1	0	0	0.0	1.0
0	1	0	0	0	0	1	1	0.0	1.0
0	1	0	0	0	1	0	1	0.0	1.0
0	1	0	0	0	1	1	1	0.0	1.0
0	1	0	0	0	1	1	0	0.0	1.0
0	1	0	0	1	0	0	0	0.1	0.9
0	1	0	0	1	0	1	0	0.0	1.0
0	1	0	0	1	0	0	1	0.0	1.0
0	1	0	0	1	0	1	1	0.0	1.0
0	1	0	0	1	1	0	1	0.0	1.0
0	1	0	0	1	1	0	0	0.0	1.0
0	1	0	0	1	1	1	1	0.0	1.0
0	1	0	0	1	1	1	0	0.0	1.0
0	1	0	1	0	0	0	0	0.1	0.9
0	1	0	0	1	1	1	1	0.0	1.0
0	1	0	1	0	0	0	1	0.0	1.0
0	1	0	1	0	0	1	1	0.0	1.0
0	1	0	1	0	0	1	0	0.0	1.0
0	1	0	1	0	1	0	0	0.0	1.0
0	1	0	1	0	1	1	0	0.0	1.0
0	1	0	1	0	1	0	1	0.0	1.0
0	1	0	1	0	1	1	1	0.0	1.0
0	1	0	1	1	0	0	1	0.0	1.0
0	1	0	1	1	0	0	0	0.0	1.0

1	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.6
0	1	1	1	1	1	1	1	0.0	1.0
1	0	0	0	0	0	0	1	0.0	1.0
1	0	0	0	0	0	1	1	0.0	1.0
1	0	0	0	0	0	1	0	0.0	1.0
1	0	0	0	0	1	0	0	0.0	1.0
1	0	0	0	0	1	1	0	0.0	1.0
1	0	0	0	0	1	0	1	0.0	1.0
1	0	0	0	0	1	1	1	0.0	1.0
1	0	0	0	1	0	0	1	0.0	1.0
1	0	0	0	1	0	0	0	0.1	0.9
1	0	0	0	1	0	1	0	0.0	1.0
1	0	0	0	1	1	0	0	0.0	1.0
1	0	0	0	1	0	1	1	0.0	1.0
1	0	0	0	1	1	1	1	0.0	1.0
1	0	0	0	1	1	1	0	0.0	1.0
1	0	0	1	0	0	0	0	0.1	0.9
1	0	0	1	0	0	1	0	0.0	1.0
1	0	0	1	0	0	0	1	0.0	1.0
1	0	0	1	0	0	1	1	0.0	1.0
1	0	0	1	0	1	0	1	0.0	1.0
1	0	0	1	0	1	0	0	0.0	1.0
1	0	0	1	0	1	1	0	0.0	1.0
1	0	0	1	1	0	0	0	0.0	1.0
1	0	0	1	0	1	1	1	0.0	1.0
1	0	0	1	1	0	1	1	0.0	1.0
1	0	0	1	1	0	1	0	0.0	1.0
1	0	0	1	1	1	0	0	0.0	1.0
1	0	0	1	1	1	1	0	0.0	1.0
1	0	0	1	1	1	1	1	0.0	1.0
1	0	0	1	1	1	1	0	0.0	1.0
1	0	0	1	1	1	1	0	0.0	1.0
1	0	0	1	1	1	1	1	0.0	1.0
1	0	1	0	0	0	0	1	0.0	1.0
1	0	1	0	0	0	0	0	0.1	0.9
1	0	1	0	0	0	1	0	0.0	1.0
1	0	1	0	0	1	0	0	0.0	1.0

1	0	1	0	0	0	1	1	0.0	1.0
1	0	1	0	0	1	0	1	0.0	1.0
1	0	1	0	0	1	1	1	0.0	1.0
1	0	1	0	0	1	1	0	0.0	1.0
1	0	1	0	1	0	0	0	0.0	1.0
1	0	1	0	1	0	1	0	0.0	1.0
1	0	1	0	1	0	0	1	0.0	1.0
1	0	1	0	1	0	1	1	0.0	1.0
1	0	1	0	1	1	0	1	0.0	1.0
1	0	1	0	1	1	0	0	0.0	1.0
1	0	1	0	1	1	1	0	0.0	1.0
1	0	1	1	0	0	0	0	0.0	1.0
1	0	1	0	1	1	1	1	0.0	1.0
1	0	1	1	0	0	0	1	0.0	1.0
1	0	1	1	0	0	1	1	0.0	1.0
1	0	1	1	0	0	0	1	0.0	1.0
1	0	1	1	0	0	1	0	0.0	1.0
1	0	1	1	0	1	1	0	0.0	1.0
1	0	1	1	0	1	0	1	0.0	1.0
1	0	1	1	0	1	1	1	0.0	1.0
1	0	1	1	1	0	0	1	0.0	1.0
1	0	1	1	1	0	0	0	0.0	1.0
1	0	1	1	1	0	1	0	0.0	1.0
1	0	1	1	1	1	0	0	0.0	1.0
1	0	1	1	1	1	0	1	0.0	1.0
1	0	1	1	1	1	1	1	0.0	1.0
1	0	1	1	1	1	1	0	0.0	1.0
1	1	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8
1	1	0	0	0	0	1	0	0.0	1.0
1	1	0	0	0	0	0	1	0.0	1.0
1	1	0	0	0	0	1	1	0.0	1.0
1	1	0	0	0	1	0	1	0.0	1.0
1	1	0	0	0	1	0	0	0.0	1.0
1	1	0	0	0	1	1	0	0.0	1.0
1	1	0	0	1	0	0	0	0.0	1.0
1	1	0	0	0	1	1	1	0.0	1.0

1	1	0	0	1	0	0	1	0.0	1.0
1	1	0	0	1	0	1	1	0.0	1.0
1	1	0	0	1	0	1	0	0.0	1.0
1	1	0	0	1	1	0	0	0.0	1.0
1	1	0	0	1	1	1	0	0.0	1.0
1	1	0	0	1	1	0	1	0.0	1.0
1	1	0	0	1	1	1	1	0.0	1.0
1	1	0	1	0	0	0	1	0.0	1.0
1	1	0	1	0	0	0	0	0.0	1.0
1	1	0	1	0	0	1	0	0.0	1.0
1	1	0	1	0	1	0	0	0.0	1.0
1	1	0	1	0	0	1	1	0.0	1.0
1	1	0	1	0	1	0	1	0.0	1.0
1	1	0	1	0	1	1	1	0.0	1.0
1	1	0	1	0	1	1	0	0.0	1.0
1	1	0	1	1	0	0	0	0.0	1.0
1	1	0	1	1	0	1	0	0.0	1.0
1	1	0	1	1	0	0	1	0.0	1.0
1	1	0	1	1	0	1	1	0.0	1.0
1	1	0	1	1	1	0	1	0.0	1.0
1	1	0	1	1	1	1	0	0.0	1.0
1	1	1	0	0	0	0	0	0.0	1.0
1	1	0	1	1	1	1	1	0.0	1.0
1	1	1	0	0	0	0	1	0.0	1.0
1	1	1	0	0	0	1	1	0.0	1.0
1	1	1	0	0	0	1	0	0.0	1.0
1	1	1	0	0	1	1	0	0.0	1.0
1	1	1	0	0	1	0	1	0.0	1.0
1	1	1	0	0	1	1	1	0.0	1.0
1	1	1	0	1	0	0	1	0.0	1.0
1	1	1	0	1	0	0	0	0.0	1.0
1	1	1	0	1	0	1	0	0.0	1.0
1	1	1	0	1	1	0	0	0.0	1.0
1	1	1	0	1	0	1	1	0.0	1.0
1	1	1	0	1	1	0	0	0.0	1.0
1	1	1	0	1	0	1	0	0.0	1.0
1	1	1	0	1	1	0	0	0.0	1.0
1	1	1	0	1	0	1	1	0.0	1.0
1	1	1	0	1	1	0	1	0.0	1.0

Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema motor básico.

Em virtude da complexidade do grande número de componentes internos, complexidade dos sub-componentes e sigilo industrial do motor básico, tem como nós pais somente as observações referentes às disfunções, não possuindo nós componentes como nós pais.

Tabela A1.2 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema motor básico .

Vazamento_ de_oleo_lub rificante	Ruido_de_ batidas internas	Motor_básico			
8	9	Probabilidade		Probabilidade de	
20%	10%	1	100.00%	5	0.00%
1.00	1.00	3	10.00%	7	90.00%
1.00	0.10	2	20.00%	6	80.00%
0.20	1.00	4	2.00%	8	98.00%
0.20	0.10				

Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema combustível.

A tabela de combinações e probabilidades da variável sistema combustível trata dos componentes que conduzem o Diesel combustível do reservatório até o motor.

Tabela A1.3 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema combustível .

Injetores	Filtro_de_com bustivel	Linha_de_baix a_pressao	Vazamento_co mbustivel	Sistema_de_combustível			
9	7	7	8	Funciona		Não Funciona	
10%	30%	30%	20%				
0	0	0	0	1	100.00%	17	0.00%
0	0	0	1	3	20.00%	19	80.00%
0	0	1	0	2	30.00%	18	70.00%
0	0	1	1	4	6.00%	20	94.00%
0	1	0	0	6	30.00%	22	70.00%
0	1	0	1	5	6.00%	21	94.00%
0	1	1	0	7	9.00%	23	91.00%
0	1	1	1	9	1.80%	25	98.20%
1	0	0	0	8	10.00%	24	90.00%
1	0	0	1	10	2.00%	26	98.00%
1	0	1	0	12	3.00%	28	97.00%
1	0	1	1	11	0.60%	27	99.40%
1	1	0	0	13	3.00%	29	97.00%
1	1	0	1	15	0.60%	31	99.40%
1	1	1	0	14	0.90%	30	99.10%
1	1	1	1	16	0.18%	32	99.82%

Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema elétrico do veículo.

Na tabela de combinações e probabilidades da variável sistema elétrico do veículo, são tratados os componentes elétricos do veículo que são montados no veículo de forma independente do motor. O chicote elétrico do motor é independente do chicote do veículo, apesar de ambos serem conectados.

Tabela A1.4 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema elétrico do veículo .

Rele_do_veiculo	Bateria	Alternador	Radio	Sistema_elétrico_do_veículo			
9	7	8	10	Funciona		Não Funciona	
10%	30%	20%	0%	1	100.00%	17	0.00%
0	0	0	0	3	0.00%	19	100.00%
0	0	0	1	2	20.00%	18	80.00%
0	0	1	0	4	0.00%	20	100.00%
0	1	0	0	6	30.00%	22	70.00%
0	1	0	1	5	0.00%	21	100.00%
0	1	1	0	7	6.00%	23	94.00%
0	1	1	1	9	0.00%	25	100.00%
1	0	0	0	8	10.00%	24	90.00%
1	0	0	1	10	0.00%	26	100.00%
1	0	1	0	12	2.00%	28	98.00%
1	0	1	1	11	0.00%	27	100.00%
1	1	0	0	13	3.00%	29	97.00%
1	1	0	1	15	0.00%	31	100.00%
1	1	1	0	14	0.60%	30	99.40%
1	1	1	1	16	0.00%	32	100.00%

Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema elétrico/eletrônico do motor.

Na tabela de combinações e probabilidades da variável sistema elétrico/eletrônico do motor, são tratados os componentes elétricos que monitoram e alteram as condições de funcionamento do motor.

Tabela A1.5 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema elétrico/eletrônico do motor .

Chicote_do_motor	Sensores_e_atuadores	Módulo_do_Motor_(ECM)	Sinal_de_funcionamento_atuadores_e_sensores	Sistema_elétrico/eletrônico_do_motor			
8	8	10	7	Funciona		Não Funciona	
20%	20%	0%	30%	1	100.00%	17	0.00%
0	0	0	0	3	30.00%	19	70.00%
0	0	1	0	2	0.00%	18	100.00%
0	0	1	1	4	0.00%	20	100.00%
0	1	0	0	6	20.00%	22	80.00%
0	1	0	1	5	6.00%	21	94.00%
0	1	1	0	7	0.00%	23	100.00%
0	1	1	1	9	0.00%	25	100.00%
1	0	0	0	8	20.00%	24	80.00%
1	0	0	1	10	6.00%	26	94.00%
1	0	1	0	12	0.00%	28	100.00%
1	0	1	1	11	0.00%	27	100.00%
1	1	0	0	13	4.00%	29	96.00%
1	1	0	1	15	1.20%	31	98.80%
1	1	1	0	14	0.00%	30	100.00%
1	1	1	1	16	0.00%	32	100.00%

Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema de admissão.

A tabela de combinações e probabilidades da variável sistema de admissão, trata dos componentes que conduzem o ar do duto de entrada até o motor, constando dutos, mangueiras e filtros, dentre outros até o motor.

Tabela A1.6 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema de admissão .

Turbo_compressor	Linha_de_admissao	Filtro_de-ar	Vazamento_de_ar	Sistema de admissao			
8	7	6	7	Funciona		Não Funciona	
20% ▾	30% ▾	40% ▾	30% ▾	1	100.00%	17	0.00%
0	0	0	0	3	30.00%	19	70.00%
0	0	0	1	2	40.00%	18	60.00%
0	0	1	1	4	12.00%	20	88.00%
0	1	0	0	6	30.00%	22	70.00%
0	1	0	1	5	9.00%	21	91.00%
0	1	1	0	7	12.00%	23	88.00%
0	1	1	1	9	3.60%	25	96.40%
1	0	0	0	8	20.00%	24	80.00%
1	0	0	1	10	6.00%	26	94.00%
1	0	1	0	12	8.00%	28	92.00%
1	0	1	1	11	2.40%	27	97.60%
1	1	0	0	13	6.00%	29	94.00%
1	1	0	1	15	1.80%	31	98.20%
1	1	1	0	14	2.40%	30	97.60%
1	1	1	1	16	0.72%	32	99.28%

Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema de arrefecimento.

Nesta tabela de combinações e probabilidades da variável sistema de arrefecimento, constam os componentes que fazem interface com o motor e são responsáveis pela circulação do líquido de arrefecimento.

Tabela A1.7 - Tabela de combinações e probabilidades da variável sistema de arrefecimento .

Radiador	Valvula_thermostatica	Bomba_dagua	Vazamento_liq_Arref.	Sistema_de_arrefecimento			
				Funciona		Não Funciona	
8	8	10	8				
20%	20%	0%	20%				
0	0	0	0	1	100.00%	17	0.00%
0	0	0	1	3	20.00%	19	80.00%
0	0	1	0	2	0.00%	18	100.00%
0	0	1	1	4	0.00%	20	100.00%
0	1	0	0	6	20.00%	22	80.00%
0	1	0	1	5	4.00%	21	96.00%
0	1	1	0	7	0.00%	23	100.00%
0	1	1	1	9	0.00%	25	100.00%
1	0	0	0	8	20.00%	24	80.00%
1	0	0	1	10	4.00%	26	96.00%
1	0	1	0	12	0.00%	28	100.00%
1	0	1	1	11	0.00%	27	100.00%
1	1	0	0	13	4.00%	29	96.00%
1	1	0	1	15	0.80%	31	99.20%
1	1	1	0	14	0.00%	30	100.00%
1	1	1	1	16	0.00%	32	100.00%

Tabela de combinações e probabilidades do componente turbo compressor.

Na tabela de combinações e probabilidades do componente turbo compressor, trata-se do componente que usa a energia dos gases de escape para comprimir o ar e o enviar para o motor. O turbo compressor faz parte do sistema de admissão.

Tabela A1.8 - Tabela de combinações e probabilidades do componente turbo compressor .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da	Turbo_compressor	
7	9	8	Funciona	Não Funciona
30%	10%	20%		
0	0	0	1	100.00%
0	0	1	3	20.00%
0	1	0	2	10.00%
0	1	1	4	2.00%
1	0	0	6	30.00%
1	0	1	5	6.00%
1	1	0	7	3.00%
1	1	1	8	0.60%
			9	0.00%
			11	80.00%
			10	90.00%
			12	98.00%
			14	70.00%
			13	94.00%
			15	97.00%
			16	99.40%

Tabela de combinações e probabilidades do componente linha de admissão.

A linha de admissão é composta pelos dutos que conduzem o ar pelo sistema de admissão.

Tabela A1.9 - Tabela de combinações e probabilidades do componente linha de admissão .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Linha_de_admissao	
8	7	6	Funciona	Não Funciona
20%	30%	40%		
0	0	0	1	100.00%
0	0	1	3	40.00%
0	1	0	2	30.00%
0	1	1	4	12.00%
1	0	0	6	20.00%
1	0	1	5	8.00%
1	1	0	7	6.00%
1	1	1	8	2.40%
			9	0.00%
			11	60.00%
			10	70.00%
			12	88.00%
			14	80.00%
			13	92.00%
			15	94.00%
			16	97.60%

Tabela de combinações e probabilidades do componente radiador.

O radiador é responsável pela troca de calor entre o ambiente e o líquido de arrefecimento do motor, fazendo parte do sistema de arrefecimento.

Tabela A1.10 - Tabela de combinações e probabilidades do componente radiador .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Radiador			
9	7	8	Funciona		Não Funciona	
10%	30%	20%				
0	0	0	1	100.00%	9	0.00%
0	0	1	3	20.00%	11	80.00%
0	1	0	2	30.00%	10	70.00%
0	1	1	4	6.00%	12	94.00%
1	0	0	6	10.00%	14	90.00%
1	0	1	5	2.00%	13	98.00%
1	1	0	7	3.00%	15	97.00%
1	1	1	8	0.60%	16	99.40%

Tabela de combinações e probabilidades do componente relé do veículo.

O relé no veículo é responsável pelo controle elétrico dos componentes elétricos do veículo, fazendo parte do sistema elétrico do veículo.

Tabela A1.11 - Tabela de combinações e probabilidades do componente relé do veículo .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Rele_do_veiculo	
9	8	5	Funciona	Não Funciona
10%	20%	50%		
0	0	0	1	100.00%
0	0	1	3	50.00%
0	1	0	2	20.00%
0	1	1	4	10.00%
1	0	0	6	10.00%
1	0	1	5	5.00%
1	1	0	7	2.00%
1	1	1	8	1.00%
			9	0.00%
			11	50.00%
			10	80.00%
			12	90.00%
			14	90.00%
			13	95.00%
			15	98.00%
			16	99.00%

Tabela de combinações e probabilidades do componente linha de baixa pressão de combustível.

A linha de baixa pressão de combustível é responsável por conduzir o Diesel combustível do reservatório até o motor, fazendo parte do sistema de combustível.

Tabela A1.12 - Tabela de combinações e probabilidades do componente linha de baixa pressão de combustível .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Linha_de_baixa_pressao			
6	8	5	Funciona		Não Funciona	
40%	20%	50%				
0	0	0	1	100.00%	9	0.00%
0	0	1	3	50.00%	11	50.00%
0	1	0	2	20.00%	10	80.00%
0	1	1	4	10.00%	12	90.00%
1	0	0	6	40.00%	14	60.00%
1	0	1	5	20.00%	13	80.00%
1	1	0	7	8.00%	15	92.00%
1	1	1	8	4.00%	16	96.00%

Tabela de combinações e probabilidades do componente alternador.

O alternador utiliza a energia mecânica do motor para produzir corrente alternada, fazendo parte do sistema elétrico do veículo.

Tabela A1.13 - Tabela de combinações e probabilidades do componente alternador .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Alternador			
8	7	6	Funciona		Não Funciona	
20%	30%	40%				
0	0	0	1	100.00%	9	0.00%
0	0	1	3	40.00%	11	60.00%
0	1	0	2	30.00%	10	70.00%
0	1	1	4	12.00%	12	88.00%
1	0	0	6	20.00%	14	80.00%
1	0	1	5	8.00%	13	92.00%
1	1	0	7	6.00%	15	94.00%
1	1	1	8	2.40%	16	97.60%

Tabela de combinações e probabilidades dos componentes sensores e atuadores.

Os sensores e atuadores são os componentes que efetuam as leituras de regime de trabalho do motor e por meio dos atuadores alteram as condições de funcionamento do motor, fazendo parte do sistema elétrico do motor.

Tabela A1.14 - Tabela de combinações e probabilidades dos componentes sensores e atuadores .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Sensores_e_atuadores			
8	9	5	Funciona		Não Funciona	
20%	10%	50%				
0	0	0	1	100.00%	9	0.00%
0	0	1	3	50.00%	11	50.00%
0	1	0	2	10.00%	10	90.00%
0	1	1	4	5.00%	12	95.00%
1	0	0	6	20.00%	14	80.00%
1	0	1	5	10.00%	13	90.00%
1	1	0	7	2.00%	15	98.00%
1	1	1	8	1.00%	16	99.00%

Tabela de combinações e probabilidades do componente bateria.

A bateria por meio da diferença de potencial fornece energia para o motor e os demais sistemas elétricos/eletrônicos do veículo, fazendo parte do sistema elétrico do veículo.

Tabela A1.15 - Tabela de combinações e probabilidades do componente bateria .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Bateria			
10	8	10	Funciona		Não Funciona	
0%	20%	0%				
0	0	0	1	100.00%	9	0.00%
0	0	1	3	0.00%	11	100.00%
0	1	0	2	20.00%	10	80.00%
0	1	1	4	0.00%	12	100.00%
1	0	0	6	0.00%	14	100.00%
1	0	1	5	0.00%	13	100.00%
1	1	0	7	0.00%	15	100.00%
1	1	1	8	0.00%	16	100.00%

Tabela de combinações e probabilidades do componente válvula termostática.

A válvula termostática auxilia no controle da temperatura de funcionamento do motor, alterando seu comportamento em função da temperatura do líquido de arrefecimento, fazendo parte do sistema de arrefecimento.

Tabela A1.16 - Tabela de combinações e probabilidades do componente válvula_termostática .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Valvula_termostática			
9	8	8	Funciona		Não Funciona	
10%	20%	20%				
0	0	0	1	100.00%	9	0.00%
0	0	1	3	20.00%	11	80.00%
0	1	0	2	20.00%	10	80.00%
0	1	1	4	4.00%	12	96.00%
1	0	0	6	10.00%	14	90.00%
1	0	1	5	2.00%	13	98.00%
1	1	0	7	2.00%	15	98.00%
1	1	1	8	0.40%	16	99.60%

Tabela de combinações e probabilidades do componente bomba d'água.

A bomba d'água auxilia a movimentação do líquido de arrefecimento ao longo dos dutos do motor e as demais galerias do sistema arrefecimento, fazendo parte do sistema de arrefecimento.

Tabela A1.17 - Tabela de combinações e probabilidades do componente bomba_d'água .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Bomba_dagua	
8	9	6	Funciona	Não Funciona
20%	10%	40%		
0	0	0	1	100.00%
0	0	1	3	40.00%
0	1	0	2	10.00%
0	1	1	4	4.00%
1	0	0	6	20.00%
1	0	1	5	8.00%
1	1	0	7	2.00%
1	1	1	8	0.80%
			9	0.00%
			11	60.00%
			10	90.00%
			12	96.00%
			14	80.00%
			13	92.00%
			15	98.00%
			16	99.20%

Tabela de combinações e probabilidades do componente Filtro de ar.

O filtro de ar tem o objetivo de impedir que partículas do ambiente sejam aspiradas e comprometa a integridade do motor, fazendo parte do sistema de admissão.

Tabela A1.18 - Tabela de combinações e probabilidades do componente Filtro de ar .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Filtro_de-ar	
8	6	10	Funciona	Não Funciona
20%	40%	0%	1	100.00%
0	0	0	9	0.00%
0	0	1	3	0.00%
0	1	0	11	100.00%
0	1	1	2	40.00%
1	0	0	10	60.00%
1	0	0	4	0.00%
1	0	1	12	100.00%
1	1	0	6	20.00%
1	1	0	14	80.00%
1	1	1	5	0.00%
			13	100.00%
			7	8.00%
			15	92.00%
			8	0.00%
			16	100.00%

Tabela de combinações e probabilidades do componente módulo do motor (ECM).

O módulo do motor é responsável por controlar o funcionamento do motor, efetuando leituras dos dados recebidos por meio dos sensores e alterando por meio dos atuadores, fazendo parte do sistema elétrico do motor.

Tabela A1.19 - Tabela de combinações e probabilidades do componente módulo do motor (ECM) .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Módulo_do_Motor_(ECM)			
7	8	5	Funciona		Não Funciona	
30%	20%	50%				
0	0	0	1	100.00%	9	0.00%
0	0	1	3	50.00%	11	50.00%
0	1	0	2	20.00%	10	80.00%
0	1	1	4	10.00%	12	90.00%
1	0	0	6	30.00%	14	70.00%
1	0	1	5	15.00%	13	85.00%
1	1	0	7	6.00%	15	94.00%
1	1	1	8	3.00%	16	97.00%

Tabela de combinações e probabilidades do componente filtro de combustível.

O filtro de combustível tem a função de impedir que partículas e água se depositem no sistema de combustível, evitando danos a todo sistema, fazendo parte do sistema de combustível.

Tabela A1.20 - Tabela de combinações e probabilidades do componente filtro de combustível .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Filtro_de_combustivel	
7	6	10	Funciona	Não Funciona
30%	40%	0%		
0	0	0	1	100.00%
0	0	1	3	0.00%
0	1	0	2	40.00%
0	1	1	4	0.00%
1	0	0	6	30.00%
1	0	1	5	0.00%
1	1	0	7	12.00%
1	1	1	8	0.00%
			9	0.00%
			11	100.00%
			10	60.00%
			12	100.00%
			14	70.00%
			13	100.00%
			15	88.00%
			16	100.00%

Tabela de combinações e probabilidades do componente filtro de combustível.

O chicote do motor é responsável por interligar os sensores e atuadores ao módulo de controle e também ao chicote elétrico do veículo, fazendo parte do sistema elétrico do motor.

Tabela A1.21 - Tabela de combinações e probabilidades do componente filtro de combustível .

Diagnóstico prévio	R/1000	Quilometragem da peça	Chicote_do_motor	
10	8	6	Funciona	Não Funciona
0%	20%	40%		
0	0	0	1	100.00%
0	0	1	3	40.00%
0	1	0	2	20.00%
0	1	1	4	8.00%
1	0	0	6	0.00%
1	0	1	5	0.00%
1	1	0	7	0.00%
1	1	1	8	0.00%
			9	0.00%
			11	60.00%
			10	80.00%
			12	92.00%
			14	100.00%
			13	100.00%
			15	100.00%
			16	100.00%

7 APÊNDICE B - PROGRAMA JAVABAYES DA RBDV

```

// Bayesian network
network "CarStarts" { //76 variables and 76 probability distributions
}
variable "Sistema_elétrico/eletrônico_do_motor" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (617, 726)" ;
}
variable "Sistema_de_combustível" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (417, 299)" ;
}
variable "Sistema_elétrico_do_veículo" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (376, 577)" ;
}
variable "Sistema_de_arrefecimento" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (623, 229)" ;
}
variable "Motor_básico" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (418, 90)" ;
}
variable "Sistema_de_admissão/escape_de_ar" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (626, 391)" ;
}
variable "Motor" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (519, 50)" ;
}
variable "Vazamento_de_óleo_lubrificante" { //2 values
    type discrete[2] { "não_detectado" "detectado" };
    property "observed não_detectado" ;
}

```

```

    property "position = (25, 91)" ;
}
variable "Ruído_do_motor_diferente_do_padrão_de_funcionamento" { //2 values

    type discrete[2] { "não_detectado" "detectado" };
    property "observed não_detectado" ;
    property "position = (21, 146)" ;
}
variable "Turbo_compressor" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (783, 444)" ;
}
variable "Linha_de_admissão_de_ar" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "colapso_vazamento" };
    property "position = (780, 675)" ;
}
variable "Vazamento_de_ar_no_sistema_de_admissão" { //2 values
    type discrete[2] { "não_detectado" "detectado" };
    property "observed não_detectado" ;
    property "position = (1111, 392)" ;
}
variable "Radiador" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (795, 107)" ;
}
variable "Vazamento_de_líquido_de_arrefecimento" { //2 values
    type discrete[2] { "não_detectado" "detectado" };
    property "observed não_detectado" ;
    property "position = (1110, 73)" ;
}
variable "Relé_do_veículo" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (208, 618)" ;
}

```

```
variable "Injetores" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (231, 351)" ;
}
variable "Linha_de_baixa_pressão_de_combustível" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (222, 194)" ;
}
variable "Vazamento_de_combustível" { //2 values
    type discrete[2] { "não_detectado" "detectado" };
    property "observed detectado" ;
    property "position = (17, 304)" ;
}
variable "Chicote_do_motor" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (805, 847)" ;
}
variable "Alternador" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (374, 751)" ;
}
variable "Sensores_e_atuadores" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (815, 990)" ;
}
variable "Bateria" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (210, 732)" ;
}
variable "Rádio" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "observed Funcionando" ;
    property "position = (17, 577)" ;
}
```

```

variable "Valvula_termostática" { //2 values
    type discrete[2] { "funciona" "não_funciona" };
    property "position = (796, 272)" ;
}
variable "Bomba_d'_agua" { //2 values
    type discrete[2] { "funciona" "não_funciona" };
    property "position = (797, 191)" ;
}
variable "Filtro_de_ar" { //2 values
    type discrete[2] { "funcionando" "obstruído" };
    property "position = (780, 552)" ;
}
variable "Módulo_do_Motor_(ECM)" { //2 values
    type discrete[2] { "Funcionando" "defeituoso" };
    property "position = (809, 1097)" ;
}
variable "Filtros_de_combustivel" { //2 values
    type discrete[2] { "Funciona" "Não_funciona" };
    property "position = (227, 511)" ;
}
variable "Aviso_painel_Instrumentos" { //2 values
    type discrete[2] { "Não_detectado" "detectado" };
    property "observed Não_detectado" ;
    property "position = (424, 663)" ;
}
variable "Quilometragem_acumulada" { //2 values
    type discrete[2] { "regiao_vida_util" "Mortalidade_infantil_ou_envelhecimento" };

    property "position = (533, 547)" ;
}
variable "diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (962, 144)" ;
}

```

```

variable "R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (961, 183)" ;
}
variable "Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (959, 223)" ;
}
variable "h1diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (960, 271)" ;
}
variable "i1R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (958, 315)" ;
}
variable "j1Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (957, 355)" ;
}
variable "k1diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (961, 18)" ;
}
variable "i1R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (961, 58)" ;
}
variable "m1Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (962, 95)" ;
}
variable "n1diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };

```

```
        property "position = (960, 423)" ;
    }
variable "o1R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (960, 460)" ;
}
variable "p1Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (960, 495)" ;
}
variable "q1diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (958, 543)" ;
}
variable "r1R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (960, 575)" ;
}
variable "s1Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (960, 607)" ;
}
variable "t1diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (957, 663)" ;
}
variable "u1R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (959, 700)" ;
}
variable "v1Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (961, 737)" ;
}
```

```
variable "w1diagnóstico_do_componente" { //2 values
  type discrete[2] { "true" "false" };
  property "position = (103, 184)" ;
}
variable "x1R/1000" { //2 values
  type discrete[2] { "true" "false" };
  property "position = (110, 216)" ;
}
variable "y1Quilometragem_peça" { //2 values
  type discrete[2] { "true" "false" };
  property "observed false" ;
  property "position = (109, 254)" ;
}
variable "z1diagnóstico_do_componente" { //2 values
  type discrete[2] { "true" "false" };
  property "position = (110, 341)" ;
}
variable "a2R/1000" { //2 values
  type discrete[2] { "true" "false" };
  property "position = (110, 381)" ;
}
variable "b2Quilometragem_peça" { //2 values
  type discrete[2] { "true" "false" };
  property "position = (112, 420)" ;
}
variable "c2diagnóstico_do_componente" { //2 values
  type discrete[2] { "true" "false" };
  property "position = (110, 480)" ;
}
variable "d2R/1000" { //2 values
  type discrete[2] { "true" "false" };
  property "position = (114, 511)" ;
}
variable "e2Quilometragem_peça" { //2 values
```



```
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (113, 543)" ;
}
variable "f2diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (109, 619)" ;
}
variable "g2R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (113, 653)" ;
}
variable "h2Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (115, 689)" ;
}
variable "i2diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (112, 745)" ;
}
variable "j2R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (115, 788)" ;
}
variable "k2Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (115, 836)" ;
}
variable "l2diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (268, 839)" ;
}
variable "m2R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (330, 848)" ;
}
```

```

}
variable "n2Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (398, 859)" ;
}
variable "Sinal_de_funcionamento_atuadores_e_sensores" { //2 values
    type discrete[2] { "detectado" "não_detectado" };
    property "observed detectado" ;
    property "position = (1177, 810)" ;
}
variable "p2diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (964, 789)" ;
}
variable "q2R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (966, 823)" ;
}
variable "r2Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (968, 859)" ;
}
variable "s2diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (962, 933)" ;
}
variable "t2R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (974, 972)" ;
}
variable "u2Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (972, 1009)" ;
}

```

```

variable "v2diagnóstico_do_componente" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (996, 1069)" ;
}
variable "w2R/1000" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (1002, 1109)" ;
}
variable "x2Quilometragem_peça" { //2 values
    type discrete[2] { "true" "false" };
    property "position = (997, 1158)" ;
}
probability (
    "Sistema_elétrico/eletrônico_do_motor"      "Chicote_do_motor"
    "Sensores_e_atuadores"                      "Módulo_do_Motor_(ECM)"
    "Sinal_de_funcionamento_atuadores_e_sensores" ) { //5 variable(s) and 32 values

    table
        1 0 0.4 0 0.08 0.2 0 0.2 0 0.08 0 0 0.04 0 0.016 0 0 1 0.6 1 0.92 0.8 1 0.8 1 0.92
1 1 0.96 1 0.984 1;
}
probability (
    "Sistema_de_combustível"      "Injetores"      "Filtros_de_combustível"
    "Linha_de_baixa_pressão_de_combustível" "Vazamento_de_combustível" ) { //5 variable(s)
and 32 values

    table
        1 0.3 0.3 0.09 0.09 0.3 0.09 0.1 0.027 0.03 0.009 0.03 0.03 0.009 0.009 0.0027
0 0.7 0.7 0.91 0.91 0.7 0.91 0.9 0.973 0.97 0.991 0.97 0.97 0.991 0.991 0.9973;
}
probability ( "Sistema_elétrico_do_veículo" "Relé_do_veículo" "Bateria" "Alternador"
    "Rádio" ) { //5 variable(s) and 32 values

    table
        1 0 0 0 0.4 0 0.3 0 0 0 0 0.12 0 0 0 0 1 1 1 1 0.6 1 0.7 1 1 1 1 0.88 1 1 1 1;
}

```

```

probability ( "Sistema_de_arrefecimento" "Radiador" "Valvula_termostática"
"Bomba_d'agua" "Vazamento_de_liquido_de_arrefecimento" ) { //5 variable(s) and 32
values

```

```

table

```

```

1 0 0.2 0 0.04 0.2 0 0.2 0 0.04 0 0 0.04 0 0.008 0 0 1 0.8 1 0.96 0.8 1 0.8 1 0.96
1 1 0.96 1 0.992 1;
}

```

```

probability ( "Motor_básico" "Vazamento_de_óleo_lubrificante"
"Ruído_do_motor_diferente_do_padrão_de_funcionamento" ) { //3 variable(s) and 8 values

```

```

table

```

```

1 0.1 0.2 0.02 0 0.9 0.8 0.98;
}

```

```

probability ( "Sistema_de_admissão/escape_de_ar" "Turbo_compressor"
"Linha_de_admissão_de_ar" "Filtro_de_ar" "Vazamento_de_ar_no_sistema_de_admissão"
) { //5 variable(s) and 32 values

```

```

table

```

```

1 0.2 0.3 0.06 0.09 0.3 0.06 0.2 0.018 0.06 0.012 0.04 0.06 0.012 0.018 0.0036
0 0.8 0.7 0.94 0.91 0.7 0.94 0.8 0.982 0.94 0.988 0.96 0.94 0.988 0.982 0.9964;
}

```

```

probability ( "Motor" "Sistema_de_admissão/escape_de_ar" "Sistema_de_arrefecimento"
"Sistema_elétrico/eletrônico_do_motor" "Sistema_elétrico_do_veículo" "Motor_básico"
"Sistema_de_combustível" "Quilometragem_acumulada" "Aviso_painel_Instrumentos" ) {
//9 variable(s) and 512 values

```

```

table

```

```

1 1 1 1 0 0 0 0.1 0 0.01 0 0 0.01 0 0.001 0 0.02 0.2 0 0.02 0 0.002 0 0 0.02 0
0.002 0 0 0 1 0 0.02 0 0 0.02 0 0.002 0 0.002 0.02 0 0.002 0 0.0002 0 0 0.04 0 0.004 0
0.0004 0.004 0 0.004 0 0.0004 0 0 0.0004 0 0.00004 0 0.04 0.4 0 0.04 0 0.004 0 0 0.04 0
0.004 0 0.0004 0.004 0 0.08 0 0.008 0 0 0.008 0 0.0008 0 0.0008 0.008 0 0.0008 0 0.00008 0
0 0.08 0 0.008 0 0.0008 0.008 0 0.008 0 0.0008 0 0 0.0008 0 0.00008 0 0.0016 0.016 0 0.0016
0 0.00016 0 0 0.0016 0 0.00016 0 0.000016 0.00016 0 0.4 0 0.04 0 0 0.04 0 0.004 0 0.004
0.04 0 0.004 0 0.0004 0 0 0.08 0 0.008 0 0.0008 0.008 0 0.008 0 0.0008 0 0 0.0008 0 0.00008
0 0.008 0.08 0 0.008 0 0.0008 0 0 0.008 0 0.0008 0 0.00008 0.0008 0 0.016 0 0.0016 0 0
0.0016 0 0.00016 0 0.00016 0.0016 0 0.00016 0 0.000016 0 0 0.16 0 0.016 0 0.0016 0.016 0

```

```

0.016 0 0.0016 0 0 0.0016 0 0.00016 0 0.0032 0.032 0 0.0032 0 0.00032 0 0 0.0032 0 0.00032
0 0.000032 0.00032 0 0.032 0 0.0032 0 0 0.0032 0 0.00032 0 0.00032 0.0032 0 0.00032 0
0.000032 0 0 0.0064 0 0.00064 0 0.000064 0.00064 0 0.00064 0 0.000064 0 0 0.000064 0
0.0000064 0 0 1 0.9 1 0.99 0.9 1 0.9 1 0.99 1 1 0.99 1 0.999 1 0.98 0.8 1 0.98 1 0.998 1 1 0.98
1 0.998 1 0.9998 0.998 1 0.8 1 0.98 1 1 0.98 1 0.998 1 0.998 0.98 1 0.998 1 0.9998 1 1 0.96 1
0.996 1 0.9996 0.996 1 0.996 1 0.9996 1 1 0.9996 1 0.99996 1 0.96 0.6 1 0.96 1 0.996 1 1
0.96 1 0.996 1 0.9996 0.996 1 0.92 1 0.992 1 1 0.992 1 0.9992 1 0.9992 0.992 1 0.9992 1
0.99992 1 1 0.92 1 0.992 1 0.9992 0.992 1 0.992 1 0.9992 1 1 0.9992 1 0.99992 1 0.9984
0.984 1 0.9984 1 0.99984 1 1 0.9984 1 0.99984 1 0.999984 0.99984 1 0.6 1 0.96 1 1 0.96 1
0.996 1 0.996 0.96 1 0.996 1 0.9996 1 1 0.92 1 0.992 1 0.9992 0.992 1 0.992 1 0.9992 1 1
0.9992 1 0.99992 1 0.992 0.92 1 0.992 1 0.9992 1 1 0.992 1 0.9992 1 0.99992 0.9992 1 0.984
1 0.9984 1 1 0.9984 1 0.99984 1 0.99984 0.9984 1 0.99984 1 0.999984 1 1 0.84 1 0.984 1
0.9984 0.984 1 0.984 1 0.9984 1 1 0.9984 1 0.99984 1 0.9968 0.968 1 0.9968 1 0.99968 1 1
0.9968 1 0.99968 1 0.999968 0.99968 1 0.968 1 0.9968 1 1 0.9968 1 0.99968 1 0.99968
0.9968 1 0.99968 1 0.999968 1 1 0.9936 1 0.99936 1 0.999936 0.99936 1 0.99936 1 0.999936
1 1 0.999936 1 0.9999936 1;

```

```

}

```

```

probability ( "Vazamento_de_óleo_lubrificante" ) { //1 variable(s) and 2 values

```

```

    table

```

```

        0.98 // p(não_detectado | evidence )

```

```

        0.02; // p(detectado | evidence );

```

```

    }

```

```

probability ( "Ruído_do_motor_diferente_do_padrão_de_funcionamento" ) { //1
variable(s) and 2 values

```

```

    table

```

```

        0.98 // p(não_detectado | evidence )

```

```

        0.02; // p(detectado | evidence );

```

```

    }

```

```

probability ( "Turbo_compressor" "n1diagnóstico_do_componente" "o1R/1000"
"p1Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values

```

```

    table

```

```

        1 0.1 0.2 0.02 0.06 0.3 0.03 0.006 0 0.9 0.8 0.98 0.94 0.7 0.97 0.994;

```

```

    }

```

```

probability ( "Linha_de_admissão_de_ar" "t1diagnóstico_do_componente" "u1R/1000"
"v1Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
    table
        1 0.3 0.4 0.12 0.08 0.2 0.06 0.024 0 0.7 0.6 0.88 0.92 0.8 0.94 0.976;
    }
probability ( "Vazamento_de_ar_no_sistema_de_admissão" ) { //1 variable(s) and 2
values
    table
        0.98 // p(não_detectado | evidence )
        0.02; // p(detectado | evidence );
    }
probability ( "Radiador" "k1diagnóstico_do_componente" "l1R/1000"
"m1Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
    table
        1 0.3 0.2 0.06 0.02 0.1 0.03 0.006 0 0.7 0.8 0.94 0.98 0.9 0.97 0.994;
    }
probability ( "Vazamento_de_líquido_de_arrefecimento" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(não_detectado | evidence )
        0.02; // p(detectado | evidence );
    }
probability ( "Relé_do_veículo" "f2diagnóstico_do_componente" "g2R/1000"
"h2Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
    table
        1 0.2 0.5 0.1 0.05 0.1 0.02 0.01 0 0.8 0.5 0.9 0.95 0.9 0.98 0.99;
    }
probability ( "Injetores" "z1diagnóstico_do_componente" "a2R/1000"
"b2Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
    table
        1 0.3 0.5 0.15 0.05 0.1 0.03 0.015 0 0.7 0.5 0.85 0.95 0.9 0.97 0.985;
    }
}

```

```

probability ( "Linha_de_baixa_pressão_de_combustível"
"w1diagnóstico_do_componente" "x1R/1000" "y1Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s)
and 16 values
    table
        1 0.2 0.5 0.1 0.2 0.4 0.08 0.04 0 0.8 0.5 0.9 0.8 0.6 0.92 0.96;
    }
probability ( "Vazamento_de_combustível" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(não_detectado | evidence )
        0.02; // p(detectado | evidence );
    }
probability ( "Chicote_do_motor" "p2diagnóstico_do_componente" "q2R/1000"
"r2Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
    table
        1 0.2 0.4 0.08 0 0 0 0 0.8 0.6 0.92 1 1 1 1 1;
    }
probability ( "Alternador" "i2diagnóstico_do_componente" "m2R/1000"
"n2Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
    table
        1 0.3 0.4 0.12 0.08 0.2 0.06 0.024 0 0.7 0.6 0.88 0.92 0.8 0.94 0.976;
    }
probability ( "Sensores_e_atuadores" "s2diagnóstico_do_componente" "t2R/1000"
"u2Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
    table
        1 0.1 0.5 0.05 0.1 0.2 0.02 0.01 0 0.9 0.5 0.95 0.9 0.8 0.98 0.99;
    }
probability ( "Bateria" "i2diagnóstico_do_componente" "j2R/1000"
"k2Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
    table
        1 0.2 0 0 0 0 0 0 0.8 1 1 1 1 1 1;
    }
probability ( "Rádio" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table

```

```

0.98 // p(Funcionando | evidence )
0.02; // p(defeituoso | evidence );
}
probability ( "Valvula_termostática" "h1diagnóstico_do_componente" "i1R/1000"
"j1Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
table
1 0.2 0.2 0.04 0.02 0.1 0.02 0.004 0 0.8 0.8 0.96 0.98 0.9 0.98 0.996;
}
probability ( "Bomba_d'agua" "diagnóstico_do_componente" "R/1000"
"Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
table
1 0.1 0.4 0.04 0.08 0.2 0.02 0.008 0 0.9 0.6 0.96 0.92 0.8 0.98 0.992;
}
probability ( "Filtro_de_ar" "q1diagnóstico_do_componente" "r1R/1000"
"s1Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
table
1 0.4 0 0 0.2 0.08 0 0 0.6 1 1 1 0.8 0.92 1;
}
probability ( "Módulo_do_Motor_(ECM)" "v2diagnóstico_do_componente" "w2R/1000"
"x2Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
table
1 0.2 0.5 0.1 0.15 0.3 0.06 0.03 0 0.8 0.5 0.9 0.85 0.7 0.7 0.94 0.97;
}
probability ( "Filtros_de_combustivel" "c2diagnóstico_do_componente" "d2R/1000"
"e2Quilometragem_peça" ) { //4 variable(s) and 16 values
table
1 0.4 0 0 0.3 0.12 0 0 0.6 1 1 1 0.7 0.7 0.88 1;
}
probability ( "Aviso_painel_Instrumentos" ) { //1 variable(s) and 2 values

table
0.98 // p(Não_detectado | evidence )
0.02; // p(detectado | evidence );
}

```



```

probability ( "Quilometragem_acumulada" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(regiao_vida_util | evidence )
        0.02; // p(Mortalidade_infantil_ou_envelhecimento | evidence );
    }
probability ( "diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "h1diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "i1R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "j1Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values

```

```

    table
      0.98 // p(true | evidence )
      0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "k1diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
      0.98 // p(true | evidence )
      0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "l1R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
      0.98 // p(true | evidence )
      0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "m1Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
      0.98 // p(true | evidence )
      0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "n1diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
      0.98 // p(true | evidence )
      0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "o1R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
      0.98 // p(true | evidence )
      0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "p1Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
      0.98 // p(true | evidence )

```

```

        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "q1diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "r1R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "s1Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "t1diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "u1R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "v1Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
}

```

```
probability ( "w1diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "x1R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "y1Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "z1diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "a2R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "b2Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "c2diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```

    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "d2R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "e2Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "f2diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "g2R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "h2Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "i2diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(true | evidence )

```

```

        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "j2R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "k2Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "l2diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values

    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "m2R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "n2Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "Sinal_de_funcionamento_atuadores_e_sensores" ) { //1 variable(s) and 2
values
    table
        0.98 // p(detectado | evidence )
        0.02; // p(não_detectado | evidence );
    }
}

```

```
probability ( "p2diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "q2R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "r2Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "s2diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "t2R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "u2Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
    table
```

```
        0.98 // p(true | evidence )
```

```
        0.02; // p(false | evidence );
```

```
    }
```

```
probability ( "v2diagnóstico_do_componente" ) { //1 variable(s) and 2 values
```

```
table
    0.98 // p(true | evidence )
    0.02; // p(false | evidence );
}
probability ( "w2R/1000" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
probability ( "x2Quilometragem_peça" ) { //1 variable(s) and 2 values
    table
        0.98 // p(true | evidence )
        0.02; // p(false | evidence );
    }
}
8 }
```


Referências Bibliográficas

6-SIGMA *a um passo da perfeição (dossiê)*. HSM Management, São Paulo: HSM do Brasil, n. 38, p. 63-90, mai / jun. 2003.

BAULTUSIS, P. *On Board Diagnosis*. Artigo: SAE 2004-21-0009, 2004.

BELLHOUSE, D. R. *The Reverend Thomas Bayes, FRS: A Biography to Celebrate the Tercentenary of His Birth*. Institute of Mathematical Statistics, 19 V, No. 1, 2004.

BOULANGER, P. *Motores Diesel*. Ed. Hemus, 1978.

CAN Capture is a CAN bus analysis and development tool from the Professional Products Group, of EControls, Inc. Disponível em: <<http://www.cancapture.com/cancapture/screenshots.html>>.

<<https://frontpage/screenshotfront1-10.png>>. Acesso em: 13 out .2008.

CHARNIAK K., E. *Bayesian networks without tears*. AI magazine, pp.50-63, 1991.

COWELL, R.G. *Probabilistic Networks and Expert Systems*. New York: Springer, p.5-23, 1999.

COZMAN, Fábio. *Axiomatizing Noisy-Or*. 25 Maio 2004.

DARPA, *Grand Challenge of autonomous vehicles*. Disponível em: <<http://www.darpa.mil/grandchallenge/index.asp>>. Acesso em: 17 jun. 2007.

David Hoyle. *QS 9000 Quality Systems Handbook*. Butterworth-Heinemann (Janeiro, 1997). ISBN-10: 0750698616, ISBN-13: 978-0750698610, 1997.

Diesel Fuel-Injection System Common Rail. Robert Bosch GmbH. ISBN-10: 0-8376-1350-7, 2005.

FLORES, C. D. *Fundamentos dos Sistemas Especialistas*. In: BARONE, D. A. C. (Ed.). *Sociedades Artificiais: a nova fronteira da Inteligência nas máquinas*. Porto Alegre: Bookman, 2003. p.332.

GARRETT, T. K.; STEEDS, W.; NEWTON, N. *The Motor Vehicle*. 13ª ed. 10 Digit ISBN / PartNumber: 0768006392. 13 Digit ISBN: 9780768006391;

GERALDO, G. *Differences between On Board Diagnostic (EOBD, EOBD II, OBD-BR1 and OBD-BR2)* SAE 2006-01-2671, 2006.

GOTTSCHALK, B.; KALMBACH, R. *Mastering Automotive Challenges*. Ed. Kogan Page Ltd., 2006.

GUSIKHIN, O.; FILEV, D.; RYCHTYCKYJ, N. *Intelligent Vehicle Systems: Applications and New Trends*. Proc. 3rd Int'l Conf. Informatics, Control and Robotics, pp. IS11–IS18, 2006.

SAHEKI, A. H., construção de uma rede bayesiana aplicada ao Diagnóstico de doenças cardíacas, dissertação Dissertação Apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

HILGER, J. E., FORD, E. J., FLAHERTY, M. *Diagnostic Challenges in the Automotive Workshop*. Artigo SAE 2004-21-0011, 2004.

IDE, Jaime Shinsuke; COZMAN, F. G. *Probabilist reasoning in Embarked Systems*. Encontro Nacional de Inteligência Artificial – ENIA. Fortaleza, 2001. Annals of XXI the Congress of the Brazilian Society of Computation, 2001. v. 3. : HSCC 2006, LNCS 3927, pp. 79–92, 2006.

International Standard - ISO 15031-5. Road vehicles -- Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics -- Part 5: Emissions-related diagnostic services. Number of Pages: 185. Edition: 1 (Monolingual) ICS: 13.040.50; 43.040.10. Status: Published Stage: 90.92 (2007-11-14). TC/SC: TC 22/SC 3, 2007.

JavaBayes version 0.346 - Bayesian networks in Java. COZMAN, F.B., jan/2001. Disponível em: <<http://www.cs.cmu.edu/Javabayes>>. Acesso em: 13out. 2008.

JENSEN, M. *OBD Communication Concepts for J1939 Systems* –Artigo SAE 2005-01-3604, 2005.

JENSEN, M. *OBD Communication Concepts for J1939 Systems* –Artigo SAE 2005-01-3604, 2005.

Kock, Richard. O princípio 80/20 Administração e Negócios. 272 páginas

LIU, L.; RAN, X.; LI, L.; *Hybrid Vehicle Road Loads Simulation and Correlation*. Artigo SAE 2007-01-1202, 2007.

Manual Cummins de reparo. (MANUAL, ISB/QSB5.9 ECM TROUBLESHOOTING AND REPAIR), Boletim 4021271-01 impresso em Abril de 2002.

Murph, Kevin. Software Packages for Graphical Models / Bayesian Networks, Written by. Disponível em: <<http://www.cs.ubc.ca/~murphyk/Bayes/bnsoft.html>>. Acessado em: 13/10/2008.

PALADY, P. FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos - 2ª Edição, Instituto IMAM, São Paulo, 2002.

PEARL, J. *Causality – Models, Reasoning and Inference*. Ed. Cambridge University Press, 2000.

Program BNT of University of British Columbia. Disponível em <<http://www.cs.berkeley.edu/~murphyk/Bayes/bnt.html>>. Acesso em: 13 out. 2008.

Program Hugin of Company Hugin Expert. Disponível em: <<http://www.hugin.com>>. Acesso em: 13 out. 2008.

Program MSBN of Company Microsoft Research. Disponível em <<http://www.research.microsoft.com/dtas/msbn>>. Acesso em: 13 out. 2008.

Program Nética of Company Norsys. Disponível em: <<http://www.norsys.com>>. Acesso em: 13 out. 2008

Program SMILE of University of Pittsburgh. Pittsburg. Disponível em: <<http://www2.sis.pitt.edu/~genie/>>. Acesso em: 13 out. 2008.

PUGLIESI, M.; Equipe Técnica da Hemus. *Manual completo do automóvel: Mecânica: Especificações: Manutenção*. Ed. Hemus, São Paulo, vol. 3, 1976.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 16, de 13 de dezembro de 1995 Publicada no DOU n. 249, de 29 de dezembro de 1995, Seção 1, páginas 22877-22878

Revised 02/06/2008. Disponível em: <http://www.myazcar.com/pdf/2008_DLC_diag_codes.pdf>, Acesso em: 13 out. 2008.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. *Artificial Intelligence: a Modern Approach*, Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey, 1995.

RYCHTYCKYJ e FILEV 2007] GUSIKHIN, O.; RYCHTYCKYJ, N.; FILEV, D. *Intelligent systems in the automotive industry: applications and trends*: Springer London, p. 147-168, 2007 0219-1377 (Print) 0219-3116 (Online)

Sindipeças (Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores). Disponível em: <http://www.sindipeças.org.br/paginas_NETCDM/modelo_detalhe_generico.asp?id_canal=602&id=36343>. Acesso em: jan. 2008.

Site da empresa MSX International. Disponível em <www.msxi-euro.com/quantum.htm>, Acesso em: 10 out. 2007.

SLACK, Nigel. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 1999.

STANDARD POWERTRAIN DIAGNOSTIC TROUBLE CODES (DTC)

TAYLOR, C. F. *The internal combustion engine in theory and practice*. Ed. M.I.T. Press, vol. 1, 1985. Tradução: Nivaldo Montingelli Jr., ISBN: 8532511813. 2006.

WEBER, E. F. *Hybrid Vehicle / Building Thermal and Electric System Combination*. Artigo SAE 2007-01-0284, 2007.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)