

DESENVOLVIMENTO DE *CHECKLIST* PARA ANÁLISE DE FALHAS EM APLICAÇÕES AUTOMOTIVA ELETRÔNICA EMBARCADA

Bruno Francisco Ferreira – bferreirasp@outlook.com

Engenheiro eletricista com especialização em engenharia aeronáutica

Washington Sales do Monte - wsalesmkt@gmail.com

Postgraduate Program in Intellectual Property, Federal University of Sergipe, Brazil

Robelius De-Bortoli - ladec.ufs@gmail.com

Postgraduate Program in Intellectual Property, Federal University of Sergipe, Brazil

Resumo— O objetivo deste artigo é apresentar um *checklist* para auxílio no processo de diagnose de falhas em oficinas e direcionamento do usuário sobre processos de manutenção de veículos que possuem sistemas embarcados. A tecnologia aplicada tanto em sistemas mecânicos, como em sistemas elétricos resulta na simplificação de *design*, redução de peso ou adição de redes de comunicação. Com o advento da eletrônica, sistemas puramente mecânicos têm sido substituídos por sistemas que possuem eletrônica embarcada integrada, gerando diversos ganhos como: incremento de segurança, conforto e economia. Para esse artigo foi aplicado um estudo de caso, validando a eficácia da proposta apresentada, especialmente quando a avaria não está diretamente vinculada a uma mensagem de falha escaneada pela ferramenta de diagnose. Assim pode ser entendido que a eletrônica embarcada permitiu que a evolução seja executada de forma contínua, organizada e robusta. Atualmente existem diversos módulos atuando de forma simultânea interagindo com sensores, centrais, ser humano (motorista e passageiros) ou recentemente, com o ambiente externo através de protótipos de veículos autônomos, surgindo então a necessidade de uma arquitetura elétrica para padronizar todo sistema eletroeletrônico. Conclui-se que equipamentos de diagnose identificam códigos de falhas que direcionam a manutenção de forma efetiva, porém muitas vezes, a causa raiz foi gerada por outros sistemas, dificultando o conserto do veículo. Através da aplicação do *checklist* para diagnose com uma visão geral dos sistemas do veículo, obtém-se um direcionamento mais conclusivo para a solução do problema.

Palavras-chave—Arquitetura elétrica, Eletrônica embarcada, sistemas embarcados, Rede CAN.

Abstract— The purpose of this article is to present a checklist to aid in the process of diagnosing process failures and user guidance on vehicle maintenance processes that have embedded systems. In situ technology in mechanical systems, such as in electrical systems, results in design simplification, weight reduction or addition of communication networks. With the advent of electronics, purely mechanical systems have been replaced by systems that come in integrated vessel, generate gains such as: safety, comfort and economy. For this article a case study was published, validating the proposal of publication, especially when a message is not linked to the fault message scanned by the diagnostic tool. Thus it can be understood that embedded electronics is one that is performed continuously, organized and robust. In some cases, it is important that you simultaneously back up central, serial, and serial sensors to the external environment through autonomous vehicle prototypes, and then the need for an electrical architecture to standardize the entire electronic system. It concludes that diagnostic equipment identifies fault codes that drive maintenance effectively, although often, since the root is generated by other systems, making it difficult to repair the vehicle. Through the application of the checklist to diagnose with an overview of the vehicle systems, obtain a more conclusive direction for the solution of the problem.

Keywords - Electrical Architecture, Embedded Electronics, Embedded Systems, CAN Network.

1 INTRODUÇÃO

Na evolução histórica no setor automotivo foi observado a substituição de sistemas mecânicos ou puramente elétricos por sistemas eletrônicos embarcados. Um sistema é dito embarcado quando se dedica a uma única tarefa e interage continuamente com o ambiente a sua volta por meio de sensores e atuadores (SANTOS, 2010).

Essa evolução permitiu obter ganhos de qualidade, segurança, economia, peso e entretenimento com o usuário, onde funções do veículo deixam de ser controladas por peças puramente mecânicas e passam a serem gerenciadas pela eletrônica embarcada. A complexidade desta migração para diagnose de falhas devido à ausência de um roteiro macro, para avaliação de problemas eletroeletrônicos concluindo de onde vem a fonte causadora da falha, demanda muito tempo, custo ou troca de componentes de forma desnecessária.

O Mercado pós-venda representa uma variável importante no desenvolvimento de veículo automotor, pois a expectativa do cliente é que não existam falhas, e caso ocorra, que a solução seja obtida rapidamente e por um custo acessível de reparação (CARVALHO, 2005).

A função principal do motorista em dirigir um automóvel, tem como responsabilidade gerenciar o ambiente veicular, necessitando sempre ficar atento a alertas que podem surgir no painel de instrumentos do veículo como: acendimento de luzes, acendimento de ideogramas ou mensagens geradas no *display* eletrônico (QUARESMA; MORAES, 2006). No painel de instrumento estão centralizados os alertas mais importantes para evitar que o veículo seja danificado de forma precoce, ou que gere risco de segurança ao motorista (por exemplo: falha ABS ou AirBag), QUARESMA; MORAES, 2006).

O significado de cada símbolo ou mensagem pode ser encontrado no manual do proprietário. Este manual é composto por diversas recomendações para o uso correto do veículo, programa de manutenção preventiva e procedimentos de reparos, fornecendo ao proprietário informações suficientes para execução de algumas intervenções simples, como: troca de lâmpadas, fusíveis, nível de água, etc..

Quando identificado um alerta no painel de instrumentos e no manual do proprietário não está descrito o procedimento de reparo, significa que a complexidade para diagnose é maior, necessitando levar o veículo a uma rede autorizada ou oficina especializada, para que profissionais técnicos especializados possam identificar a causa da falha, eliminando o alerta visual (ARAÚJO, 2006).

Além de alertas visuais, podem existir outros modos de identificação de falhas, como: alertas sonoros, ruídos, perda de potência, falhas intermitentes etc. Muitas vezes estas falhas não geram um alerta no painel de instrumento, mas gera um código de falha que só pode ser visualizado através de uma ferramenta de diagnose encontradas em oficinas especializadas que irão direcionar e restringir o sistema com defeito (FONSECA CARDOSO, 2017).

O objetivo deste artigo é apresentar uma técnica para análise de falhas (*checklist*) que auxilie o mecânico em uma oficina a executar a atividade de forma mais assertiva e o proprietário do veículo a compreender algumas fases do processo de manutenção, assim como, a complexidade gerada em alguns casos de falhas.

2 MATERIAL E MÉTODO

O presente trabalho é classificado como pesquisa aplicada, visto que se caracteriza pelo interesse prático. Quanto ao objetivo é do tipo exploratório, por apresentar além da análise um levantamento bibliográfico sobre o assunto em questão, e quanto a sua abordagem é um estudo de caso *qualitativo* (MIGUEL, 2007; TURRIONI et al, 2012))

A coleta de evidências para a construção do *checklist* baseou-se em literaturas sobre e na construção de estudo de caso. Também foi estudado as características peculiares dos sistemas embarcados automotivos, bem como arquiteturas eletroeletrônicas para o desenvolvimento e teste. Os dados foram organizados em fluxogramas e quadros resumos para um melhor entendimento das informações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Arquiteturas eletroeletrônicas, ou simplesmente arquiteturas elétricas são as formas como diversos sistema de controle são implementados e interconectados em uma aplicação embarcada (GUIMARÃES DE ALMEIDA, 2007). Dentre diversos conceitos são mais comuns os tipos arquitetura: centralizada e arquitetura distribuída. Na arquitetura centralizada, uma única ECU (Unidade de controle eletrônico), coleta sinais de grandezas físicas, proveniente de

sensores diversos, processa-os e envia os sinais de controle aos atuadores, como válvulas solenoides, PWM e relés (figura 1-a).

Na arquitetura distribuída são aplicadas diversas ECU's obtendo flexibilidade na instalação no veículo, posicionando os módulos próximos aos atuadores, reduzindo o cabeamento, por exemplo: ECU injeção instalada próximo ao motor do veículo, observando facilidade para manutenção, manufatura e alta flexibilidade para aplicação e parametrização de *softwares* (figura 1-b).

Figura 1 – Arquitetura eletroeletrônica veicular: Centralizada e Distribuída.



Fonte: Google imagem (2018).

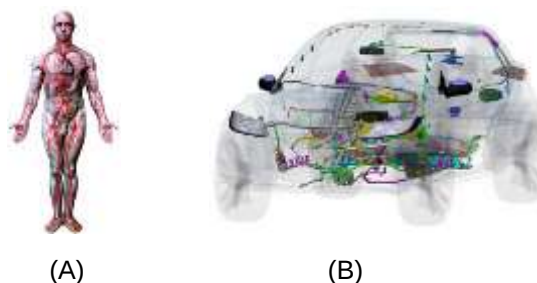
Atualmente a maioria dos veículos utilizam arquitetura distribuída, permitindo uma padronização global dos projetos, assim como desenvolvimento de módulos específicos para cada região onde será aplicado o automóvel. Para comunicação de todos estes módulos, é necessário o roteamento de todos os fios que enviarão sinais e dados entre os módulos (chicotes elétricos) e um protocolo de tráfego de informações, neste caso conhecido como rede *Controller Area Network* - CAN.

3.1 CHICOTES ELÉTRICOS

Chicotes elétricos são as veias e artérias do carro, assim como no corpo humano que permite a circulação de sangue (figura 2-a), permite o fluxo de sinais, dados e pulsos elétricos entre os módulos. Estes circuitos são responsáveis por toda comunicação do veículo, envio dos sinais para sensores e atuadores ou dados para compilação via software, posteriormente a execução de uma rotina (NILSSON; RIEDEL, 2009).

Os chicotes estão ocultos no veículo através de peças de design e acabamentos, porém espalhado por todas as regiões da carroceria (figura 2-b). Em alguns pontos é possível visualizar um chicote elétrico, como na região do motor. Associando novamente ao funcionamento das veias e artérias do corpo humano, quando um cabo é rompido ou danificado, pode gerar problemas de funcionamento do veículo ou parada total do automóvel.

Figura 2 - A-Veias e artérias do corpo humano, B- Chicote instalado em um veículo (Adaptado).



Fonte: Google imagem (2018).

Além da transmissão de dados, os chicotes elétricos possuem proteções contra abrasão, estanqueidade, temperatura e interferências eletromagnéticas (EMC), possuem elementos de fixação para evitar que agentes externos como vibração danifiquem os componentes e a instalação elétrica do veículo. Todo circuito elétrico necessita de um aterramento para funcionamento (de acordo com conceitos de fenômenos da eletricidade).

3.2 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Protocolos de comunicação são meios de transmissão e recepção de dados utilizados para intercomunicar módulos eletrônicos e/ou sensores e atuadores inteligentes equipados com micro controladores e transceivers (GUIMARÃES DE ALMEIDA, 2007).

As redes automotivas podem ser divididas em classes A, B ou C, de acordo com cada aplicação. A rede CAN, em evidência neste artigo, é classificada como classe B. É definida como um protocolo de comunicação serial síncrono, desenvolvida por Robert Bosch, na década de 1980. Em 1986 ocorreu a apresentação oficial do protocolo CAN pela SAE (Sociedade dos Engenheiros Automotivos), obtendo sua primeira aplicação em 1992, em um veículo da Mercedes-Benz.

A arquitetura CAN pode ser demonstrada através do modelo de arquitetura *Open Systems Interconnection* - OSI, constituída por sete camadas: Físico, Enlace, Rede, Transporte, Sessão, Apresentação e Aplicação, sendo que a rede CAN utiliza duas camadas deste modelo: Física e Enlace, (MOREIRA, 2013).

As principais características da rede CAN são: prioridade de mensagens, atraso de tempo garantido para transmissão de mensagens, configuração flexível, controle de sinalização de erros e significativa imunidade a ruídos.

Possui o protocolo de acesso ao meio *Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection* - CSMA/CD. Nas extremidades do barramento é inserido resistências para casamento de impedância, absorvendo a potência do sinal dissipado, evitando o congestionamento da rede, impedindo a transmissão dos dados das centrais, pois toda ECU que deseje transmitir uma mensagem deve antes observar se o barramento está livre, caso contrário deve aguardar o término da transmissão da mensagem corrente, tentando o re-envio. Se houver a tentativa de transmissão de duas mensagens ao mesmo tempo, são consideradas as prioridades de transmissão, de acordo com a estrutura de mensagem a ser enviada (ALVES; TOVAR; VASQUES, 2000).

De forma análoga um barramento CAN seria como uma avenida principal movimentada, onde o fluxo de carros é constante e as ECU's são interligadas através de ruas arteriais que darão acesso a esta avenida. O tráfego de dados pode ocorrer a partir da ECU (da rua até a avenida principal) ou do barramento (da avenida principal para a rua). O protocolo é responsável por coordenar todo este fluxo, similar a legislação de trânsito, sinalização e semáforos (figura 3).

Figura 3 - Protocolo CAN – Analogia a organização de tráfego terrestre.



Fonte: Google imagem (2018).

Para proteção de ruídos gerados através de interferências eletromagnéticas, como de antenas ou outros componentes elétricos instalados no veículo, o cabo CAN é composto por pares trançados ou blindagem para anular

o campo eletromagnético que pode incidir sobre o percurso. Esta informação é importante para identificação visual no chicote elétrico das interconexões da rede veicular.

3.4 ATERRAMENTO DO VEÍCULO

Entende-se por aterramento a ligação elétrica de um equipamento ou componente de um sistema elétrico a terra, por meio de dispositivos condutores de eletricidade adequados (chicotes elétricos). Para altas frequências, quando percorrido por uma corrente, o aterramento comporta-se como impedância complexa, ou seja, apresenta resistência, capacitância e indutância, cada qual influenciando na capacidade de condução de corrente para o solo. Para baixas frequências, tal impedância aproxima-se de uma resistência. (VISACRO, 2002).

Um veículo automotor trabalha com baixas frequências, baixas correntes e o valor de resistividade dos pontos de aterramento não muito elevados, logo são desprezíveis os efeitos capacitivos e indutivos, comportando como uma resistência linear (GANZAROLLI, 2012).

Por razões de custo, montagem e manutenção, o aterramento do veículo é realizado na própria carroceria, ligando ao polo negativo da bateria (A). Logo são utilizados diversos pontos distribuídos de aterramento na carroceria (B). O conjunto do motor e câmbio possuem sistemas eletrônicos integrados, os circuitos são aterrados na carcaça do motor, posteriormente aterrando ao polo negativo da bateria (C) ou na carroceria do veículo, fechando o caminho a ser percorrido pela corrente elétrica, (figura 4).

Figura 4 - Conceito de aterramento carro: pontos de aterramento distribuído na carroceria.



Fonte: Google imagem (2018).

3.5 FERRAMENTAS DE DIAGNOSE

Uma ferramenta de diagnose é composta por um hardware e um software dedicado ao gerenciamento e intervenção nos dados que serão lidos. O dispositivo realiza a leitura dos dados de módulos eletrônicos, verificando possíveis códigos de erros, conhecidos como DTC's (Diagnostic Trouble Codes). Os DTC's são códigos predefinidos e registrados na memória de falhas dos módulos eletrônicos, de acordo com a norma SAE J1939.

O dispositivo para leitura dos dados pode ser um notebook, um coletor de dados ou até mesmo um celular portando um aplicativo de diagnose. A comunicação entre os módulos e ferramentas de teste pode ser realizada via Bluetooth ou via cabo, conectando a uma predisposição chamada OBD (*on board diagnosis*) (TEIXEIRA; TOURNIER, 2015) (figura 5).

Figura 5 - Exemplo de ferramentas de diagnose e leitura de falhas (adaptado).

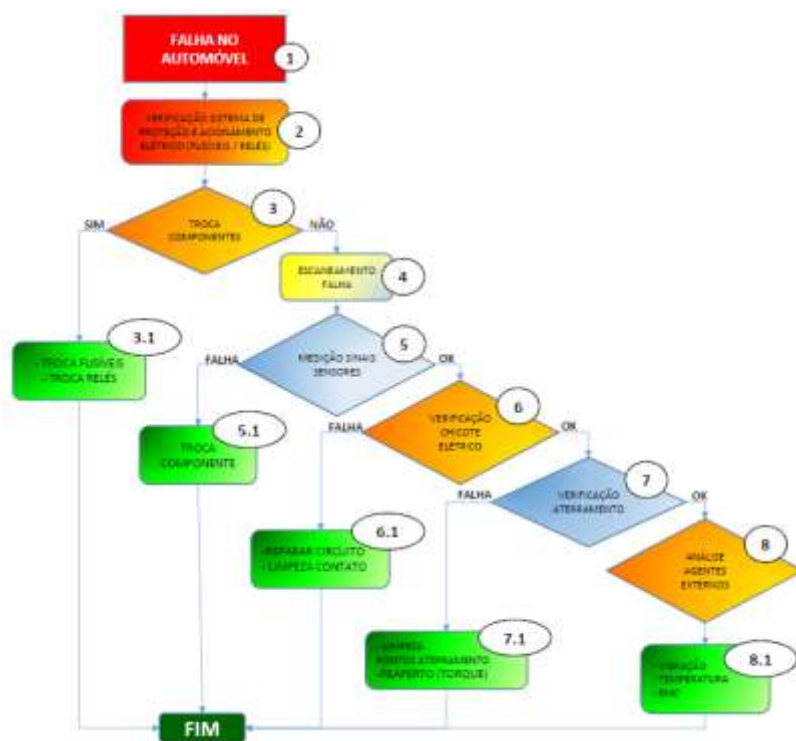


Fonte: Google imagem (2018).

3.5 PROPOSTA: TÉCNICA PARA ANÁLISE DE FALHAS PARA APLICAÇÃO AUTOMOTIVA: ELETRÔNICA EMBARCADA

O método proposto foi elaborado em formato de fluxograma, permitindo uma leitura rápida devido a ordenação sequenciada (figura 6), sendo detalhando as etapas no quadro1.

Figura 6 - Método para diagnose veicular: eletrônica embarcada: *Checklist*.



Fonte: Autores da pesquisa (2018).

QUADRO 1
MÉTODO PARA DIAGNOSE VEICULAR: DESCRIÇÃO SEQUENCIAMENTO FLUXOGRAMA.

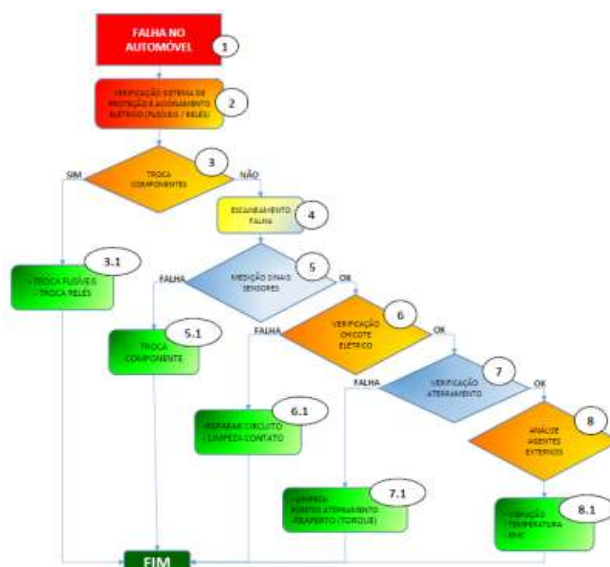
1	Identificação avaria no veículo. Necessário reparo para funcionamento do correto do veículo	--	
2	Através do manual do veículo, verificação de fusíveis queimados ou relés com defeito.	--	Exemplo: Lanterna queimada. No manual de uso do veículo é descrito a posição do fusível e relé.
3	Decisão troca componente	3.1	Se o componente estiver com falha, realiza a troca. Caso contrário, seguir para o passo 4
4	Utilização ferramenta de diagnose para direcionamento da falha	--	Realizar o escaneamento de todos sistemas eletroeletrônicos do veículo identificando códigos de falha
5	Através do código de falha, isola o sistema e realiza a medição dos sensores e sinais de ECU's	5.1	Se o sensor estiver com falha, realiza-se a troca do componente. No Caso de ECU's, deve verificar atualizações de software antes da troca. Caso contrário, seguir para o passo 6.
6	Realizar teste de continuidade utilizando um diagrama elétrico do veículo	6.1	Caso verifique cabos rompidos, realizar reparo. Caso conectores estejam oxidados, realizar limpeza dos contatos. Caso contrário, seguir para o passo 7.
7	Identificar pontos de aterramento e realizar conferência	7.1	Desmontar, realizar limpeza dos contatos e aplicar o torque especificado pelo fabricante.
8	Caso o problema ainda não esteja resolvido verificar agente externos	8.1	Analisar a aplicação do veículo, se está em sendo utilizado em condições mais severas que definido por projeto, como temperatura, vibração excessiva ou interferências magnéticas

Fonte: Autores da pesquisa (2018).

3.6 ESTUDO DE CASO: VALIDANDO A PROPOSTA: CHECKLIST

Para evidenciar a eficácia da técnica apresentada, foi escolhido uma falha que gera grandes transtornos em oficinas, devido à complexidade de identificação e intermitência de eventos. As vezes demanda muito tempo de diagnose ou troca de componentes de forma desnecessária, pela caracterização do erro. A falha está associada aos pontos de aterramento do veículo. Seguindo o fluxo, é possível replicar o *checklist*, não gerando dúvidas, se realmente a solução proposta evitará reincidência do erro (figura 7) e quadro 2.

Figura 7 - Aplicação *checklist* ao modo de falha.



Fonte: Autores da pesquisa (2018).

QUADRO 2
MÉTODO PARA DIAGNOSE VEICULAR: APLICAÇÃO DO CHECK LIST.

1	Identificação avaria no veículo. Necessário reparo para funcionamento do correto do veículo Acendimento da luz de injeção no painel de instrumentos do veículo e perda de potência, ocorrendo de forma intermitente	--	
2	Através do manual do veículo, verificação de fusíveis queimados ou relés com defeito. Não identificado fusíveis queimados ou relés danificados.	--	
3	Decisão troca componente	3.1	Troca não necessária, seguido para o passo 4
4	Utilização ferramenta de diagnose para direcionamento da falha. Identificação perda de potência do motor. Componente em evidência com a avaria: corpo da borboleta	--	
5	Através do código de falha, isola o sistema e realiza a medição dos sensores e sinais de ECU's	5.1	Realizado análise do componente e medições dos parâmetros para funcionamento. Parâmetros dentro do especificado pelo fabricante para funcionamento correto.
6	Realizar teste de continuidade utilizando um diagrama elétrico do veículo	6.1	Através do diagrama elétrico foi testado a continuidade do circuito, não evidenciando falhas. Seguido para o passo 7.
7	Identificar pontos de aterramento e realizar conferência	7.1	Encontrado a falha. O terminal de aterramento da ECU de injeção estava oxidado e com aperto ineficiente, criando uma camada isolante entre as superfícies de contato denominado “corrosão por atrito”. Tratamento da falha: Realizado limpeza das superfícies do terminal e ponto de aterramento, conectando novamente. Aplicado torque conforme especificado pelo fabricante. Aplicado graxa dielétrica. Apagado código de falha através ferramenta de diagnose. Não houve reincidência de falha
8	Caso o problema ainda não esteja resolvido verificar agente externos	--	

Fonte: Autores da pesquisa (2018).

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que a utilização do *checklist* gerou assertividade na solução do problema diagnosticado com menor custo de manutenção. Usualmente a tradução de código de falhas (verificado pela ferramenta de diagnose) direciona para os possíveis componentes com defeito, realizando a troca. Neste caso apresentado, a manutenção teria um custo alto devido aos componentes associados serem ECU e sensores.

Aplicando o *checklist* em todas as suas etapas, foi possível garantir que houve a verificação completa do sistema, identificando a causa raiz um ponto não descrito pelo DTC. Alcança o objetivo de exemplificar ao proprietário o processo de diagnose de forma clara e transparente através da abordagem sucinta da tecnologia aplicada, assim como

conceitos de engenharia e manutenção. Para profissionais especializados em manutenção, o *checklist* contribui para maior exploração de um problema e controle de falhas de um veículo.

Para desenvolvimento do conteúdo deste artigo foi observado certa limitação nas referências bibliográficas técnicas automotivas em relação a abordagem prática, fornecendo conteúdos acadêmicos e conceituais, no que gerou a necessidade de realizar pesquisas na internet e em campo para melhor entender a aplicabilidade do *checklist*, assim como sua eficácia.

Este artigo contribui para de forma científica e tecnológica na disseminação do conhecimento específico voltado para a área automotiva, despertando novas ideias e propósitos em explorar esta área que possui um acesso limitado a certas tecnologias devido a segredos industriais, assim como posicionamento de mercado das empresas. A evolução contínua dos projetos, permite expandir a aplicabilidade de inovação aberta para somar conteúdo e fornecer soluções que gerem valor aos carros do futuro.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M.; TOVAR, E.; VASQUES, F. **Ethernet goes real-time: a survey on research and technological developments**. 2000.
- ARAÚJO, T. V. G. P. al. Projeto Mini Baja como estudo de caso para Instrumentação Eletrônica. In: **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia-Cobenge**. 2006.
- CARVALHO, E. G. de. Globalização e estratégias competitivas na indústria automobilística: uma abordagem a partir das principais montadoras instaladas no Brasil. **Gestão & Produção**, p. 121-133, 2005.
- GUIMARÃES DE ALMEIDA, A. **Eletrônica Embarcada Automotiva** 1ª Ed. São Paulo: Editora Erica, 2007.
- GANZAROLLI, F.. **Influência das frequências de ride no conforto e dirigibilidade veiculares na faixa linear de uso do veículo**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- FONSECA CARDOSO, H. **Veículos Automotores: Identificação, Inspeção, Vistoria, Avaliação, Perícia e Recall**. LEUD, 2017.
- MOREIRA, A. R. R. R. **Bancada de simulação eletrônica como validação em veículos comerciais**, São Paulo, SAE, 2013.
- MIGUEL, P. A. C. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Produção, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 216-229, jan/abr 2007.
- NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. **Circuitos elétricos**. 8ª Ed. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2009.
- QUARESMA, M.; MORAES, A. **A distração do motorista e o desenvolvimento de equipamentos eletrônicos em veículos** (2006). Disponível em <http://www.leui.dad.puc-rio.br/arquivosartigos/quaresma_moraes_xvsaebrasil_2006.pdf>. Acessado em 30 de Ago. 2018.
- QUARESMA, M.; MORAES, A. **As novas tecnologias veiculares e a distração do motorista - Uma introdução** (2011). Disponível em < http://www.leui.dad.puc-rio.br/arquivosartigos/quaresma_moraes_congressobrasileiroergonomia_2006.pdf >. Acessado em 30 de Ago. 2018.
- SANTOS, M. D. **Redes de comunicação automotiva** 1ª Ed. São Paulo: Editora Erica, 2010. 220 pp.
- TEIXEIRA, F. CR; TOURNIER, D. R. Utilização de telemetria para diagnóstico automotivo à distância. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2015.
- TURRIONI, J. B.; C. H. P. Mello. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção: Estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 2012.
- VISACRO, F. S. **Aterramentos elétricos: conceitos básicos, técnicas de medição e instrumentação, filosofias de aterramento**. São Paulo: Editora Artliber, 2002.