

# Uma Abordagem Interativa para Auxiliar o Diagnóstico Automotivo

Leonardo Presoto de Oliveira, Marco Aurélio Wehrmeister, André Schneider de Oliveira  
Federal University of Technology – Paraná (UTFPR)  
Curitiba, Brazil  
leonardopoliveiraaa@gmail.com, {wehrmeister, andreoliveira}@utfpr.edu.br

**Resumo** - Este trabalho tem como objetivo propor uma abordagem para auxiliar o diagnóstico de defeitos nos automóveis, relacionando os dados obtidos através da telemetria do veículo como as percepções do motorista sobre uma determinada falha. A inclusão do motorista no processo de diagnóstico permite que os engenheiros identifiquem elementos que podem ser melhorados no carro, mesmo que eles não apresentem erro aparente. A opinião do motorista deve ser considerada, uma vez que ele/ela é incluído no processo como um novo “sensor” (o mais inteligente e importante de todos) capaz de reportar suas percepções. Neste sentido, este trabalho contribui com: (i) a busca por alternativas para aplicar de maneira eficiente a conectividade dos veículos no processo de diagnóstico; (ii) permitir que as montadoras obtenham informações mais concretas dos veículos que comercializam. Para tanto propõe-se um abordagem que integra os dados fornecidos pelo motorista com os do carro, permitindo que sejam realizados diagnósticos preventivos mais completos do que aqueles baseados apenas uma telemetria. Para tanto, o motorista fornece comandos por texto ou voz e um software contido no celular solicita ao OBD os dados de telemetria necessários para obter as informações desejadas. A abordagem proposta foi avaliada através de um experimento no qual analistas de diagnóstico responderam a um questionário que buscava evidenciar que a abordagem proposta influencia no processo de diagnóstico, fazendo com que a solução do problema seja encontrada em menos etapas em comparação com o processo atual.

**Palavras-chave** – Diagnóstico Automotivo, Interface humano-máquina, Análise de Falhas

## I. INTRODUÇÃO

Com o intuito de aprimorar o produto oferecido para o cliente, e logicamente, aumentar número de vendas, as montadoras tem agregado novas funções e novos sistemas para atender a demanda vinda do mercado. Porém, esta evolução tem causado o aumento na complexidade dos projetos de seus veículos [1].

Além do aumento da complexidade do automóvel, as montadoras também terão de aprimorar as técnicas para diagnosticar os problemas e falhas nas *Electronic Control Units* (ECUs) do veículo. No contexto deste trabalho, os problemas estão ligados com mau funcionamento ocasionados por equívocos no projeto do sistema. Falhas são defeitos nos componentes físicos do sistema (uma peça defeituosa ou uma ligação com defeito, por exemplo). As falhas são detectadas com a utilização dos *Diagnostic Trouble Codes* (DTCs), que são códigos gerados pelas ECUs que evidenciam o mau funcionamento em um determinado sistema [2].

Geralmente, a montadora utiliza um software proprietário (ou seja, a empresa não tem acesso ao código fonte), que se conecta ao carro pela entrada *On-Board Diagnostic* (OBD) do veículo e permite que os engenheiros tenham acesso às variáveis dos sistemas disponíveis no veículo [3].

Na concessionária, o acesso se restringe à leitura dos DTCs gerados pelas ECUs. O processo é realizado por meio de uma ferramenta conhecida como *Scanner* Automotivo. Com o *scanner* os funcionários da concessionária podem acessar e

decifrar o significado dos DTCs, permitindo assim que o reparo do veículo seja realizado. Para os clientes, alguns DTCs são representados por meio dos *Malfunction Indicator Lamp* (MIL), e são disponibilizados no painel do veículo.

Com exceção feita às vistorias programadas, a responsabilidade de detectar um defeito é predominantemente do motorista, e a qualidade da sua análise depende fortemente do seu conhecimento sobre o funcionamento do carro.

Todo mau funcionamento que ocorre no veículo é gravado no sistema de controle na forma de um DTC. Quando este problema é solucionado, este DTC é prontamente apagado do sistema. Uma vez que não existam DTCs disponíveis, o veículo não deveria apresentar nenhuma falha aparente.

Os DTCs podem ser divididos em dois grupos no que diz respeito ao aparecimento no sistema. O grupo denominado “panes presentes” inclui os DTCs de maior prioridade que, mesmo que apagados do sistema, reaparecem prontamente pois são avaliados constantemente. O grupo denominado “panes memorizadas” inclui DTCs de menor prioridade que são memorizados no sistema apenas no momento em que o erro é evidenciado, ou seja, se forem apagados, não reaparecerão no sistema até ocorrerem novamente, pois não há uma rotina programada para encontrá-los como existe para as “panes presentes” [4] [5].

Isso vai em desencontro com as expectativas do motorista, não só pelo tempo que o serviço de reparação demora para ser realizado (desde a percepção do problema no veículo, marcação da vistoria, até a realização da verificação na concessionária), mas também pela qualidade do serviço e retorno de informações para a montadora que não são os ideais. Segundo uma pesquisa de mercado [6], 92% dos clientes de mercados emergentes como o Brasil, desejam que seus e-mails ou solicitações sejam respondidos pela montadora em menos de 24 horas.

Neste contexto, este trabalho ataca o problema relacionado a dificuldade que a montadora tem para obter informações dos problemas e falhas que ocorrem nos veículos. O objetivo deste trabalho é propor uma abordagem para auxiliar no diagnóstico de defeitos nos automóveis, relacionando os dados obtidos com a leitura da telemetria do veículo como as percepções do motorista sobre uma determinada falha.

A exploração de técnicas que otimizam o diagnóstico automotivo é um problema a ser discutido. De acordo com um estudo realizado anteriormente [7], as técnicas de diagnóstico devem fornecer suporte à grande quantidade de sistemas que surgirão nos próximos anos. É necessário também utilizar a conectividade que os celulares e veículos dispõem na atualidade, com o intuito de evoluir o produto oferecido, e melhorar a segurança e experiência do cliente enquanto dirige.

Para tanto, a abordagem proposta inclui o motorista no processo de diagnóstico, visando permitir que os engenheiros identifiquem elementos a serem melhorados no carro, mesmo que não ele apresentem erro aparente. Em outras palavras, a opinião do motorista é considerada, pois ele/ela representa um novo “sensor” (o mais inteligente e importante de todos) capaz

de reportar suas percepções. Neste sentido, este trabalho contribui com: (i) a busca por alternativas para aplicar de maneira eficiente a conectividade dos veículos no processo de diagnóstico; (ii) permitir que as montadoras obtenham informações mais concretas dos veículos que comercializam.

O restante deste texto está organizado da seguinte forma: a seção II discute o estado-da-arte na área de diagnóstico automotivo; a seção III apresenta a abordagem proposta para auxiliar o diagnóstico automotivo; a seção IV discute os resultados obtidos através da aplicação da abordagem em um experimento com analistas de diagnóstico automotivo; por fim as seção V discute as conclusões e trabalhos futuros.

## II. ANÁLISE DO ESTADO-DA-ARTE

A análise do estado-da-arte relacionado ao diagnóstico automotivo foi feita no formato de uma revisão sistemática da literatura publicado em [7]. Esta seção resume os principais desafios e problemas em aberto identificados naquele estudo. A Fig. 1 mostra o histograma a distribuição dos trabalhos correlatos em relação aos temas que abordam.

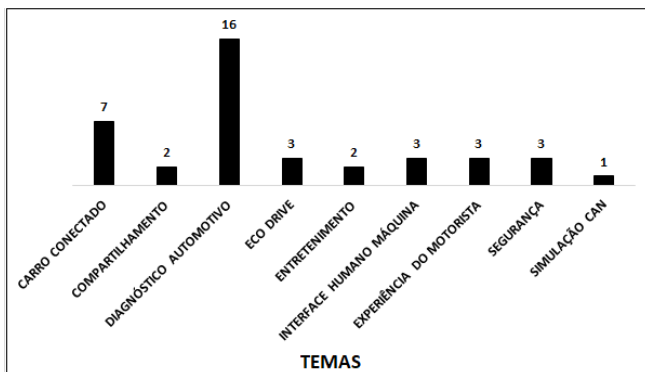


Fig. 1. Distribuição dos temas abordados pelos artigos

Entre os 40 artigos estudados, o principal desafio encontrado é efetuar um diagnóstico automotivo mais consistente. Apesar do tema já ser debatido durante muito tempo, pesquisadores ainda buscam novas formas de efetuar-lo. Isso foi presente em 40% dos artigos [8 até 23], que tratam especificamente em como avaliar ou propor formas de extrair os dados provenientes do veículo. Os trabalhos discutem formas de como extrair informações eficientemente do veículo, levando-se em conta principalmente as fontes que podem causar ruídos nos dados obtidos e os quão precisos são os métodos propostos nos seus respectivos artigos.

Outra problemática identificada é a de desenvolver mecanismos para tornar viável o uso de veículos conectados; este tema foi abordado em 17.5% dos estudos analisados. Estes artigos discutem questões relacionadas à segurança dos dados que os carros conectados enviam ou recebem, controle contra ataques externos, e também das principais tendências e decorrências no futuro desta tecnologia. A segurança em carros conectados é discutida em [24] [25] e [26]. Estes trabalhos apresentam medidas que visam diminuir o número de acidentes automotivos.

De maneira complementar, este trabalho, ao contrário dos trabalhos mencionados, sugere realizar a extração dos dados por meio de dispositivos OBD. Nos trabalhos analisados o OBD foi utilizado como ferramenta e não como objeto de estudo. A interferência direta na Rede CAN não é uma abordagem simples, uma vez que pode comprometer o funcionamento do veículo. Portanto, este trabalho propõe um modelo de diagnóstico, no qual as informações são obtidas via OBD, porém, o motorista será inserido como um novo filtro no

veículo (e o mais importante no processo). Neste sentido, principal novidade fornecida neste trabalho é esta interação que resulta em dados mais completos de diagnóstico, pois além dos dados retirados diretamente do sistema de telemetria, o engenheiro da montadora contará com as informações obtidas a partir do motorista do veículo que são obtidas através de mensagens de texto ou reconhecimento de fala.

## III. ABORDAGEM INTERATIVA PARA AUXILIAR O DIAGNÓSTICO AUTOMOTIVO

Considerando os problemas mencionados anteriormente, criou-se uma abordagem para auxiliar o diagnóstico automotivo que utiliza os dados de telemetria do veículo, a percepção do motorista, e um sistema computacional para captar, processar e transmitir estas informações para a montadora.

Tal sistema computacional pode ser visto como uma interface entre o motorista e o veículo que permite que sejam realizados diagnósticos preventivos mais completos do que apenas usando o sistema de telemetria. Mesmo que o motorista não tenha conhecimento aprofundado sobre o funcionamento do veículo, o sistema é capaz de orientar o motorista no processo de diagnóstico. O objetivo deste procedimento é que estes dados sejam enviados à montadora na medida em que os problemas ocorrem no veículo. A Fig. 2 fornece uma visão geral do sistema desenvolvido.

A entrada dos dados por parte do motorista é realizada por meio de texto ou comando de voz. Um software contido no smartphone do motorista é responsável por solicitar ao OBD as leituras necessárias para que o motorista obtenha as informações que deseja. Por sua vez, o veículo possui um dispositivo OBD conectado ao seu sistema que permite a leitura dos códigos DTC que são enviados no barramento de comunicação do veículo. Quando o motorista percebe a ocorrência de alguma situação fora do comum no seu veículo, ele/ela aciona o software de diagnóstico do smartphone.

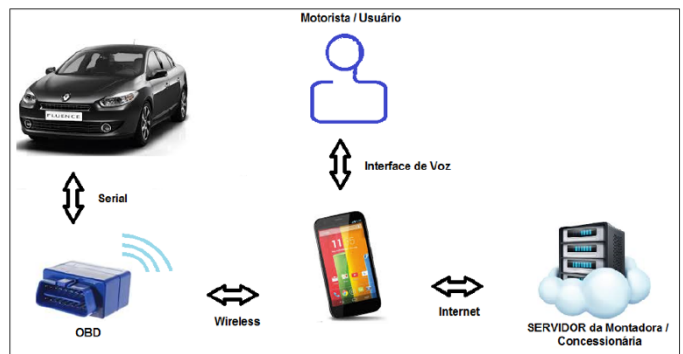


Fig. 2. Sistema interface Carro-Motorista- Montadora

O motorista realiza a interação com tal software através de texto ou comandos de voz. Ao receber o comando, o software solicita a leitura dos dados sobre os DTCs que estão armazenados em alguma ECU do veículo. Em seguida, o software envia os dados coletados para um servidor (que se localiza fisicamente na montadora) através da Internet. Os dados enviados são os dados sobre os DTCs e a percepção do motorista captada através do aplicativo do smartphone.

Para auxiliar no diagnóstico, um classificador de problemas foi criado com a finalidade de categorizar um problema automotivo com base na fala do motorista. Para a criação deste classificador foram utilizadas técnicas de inteligência artificial [27] e mineração de dados [28], especificamente as técnicas ligadas à árvore de decisão [29] [30]. Os dados utilizados para a criação do classificador são de

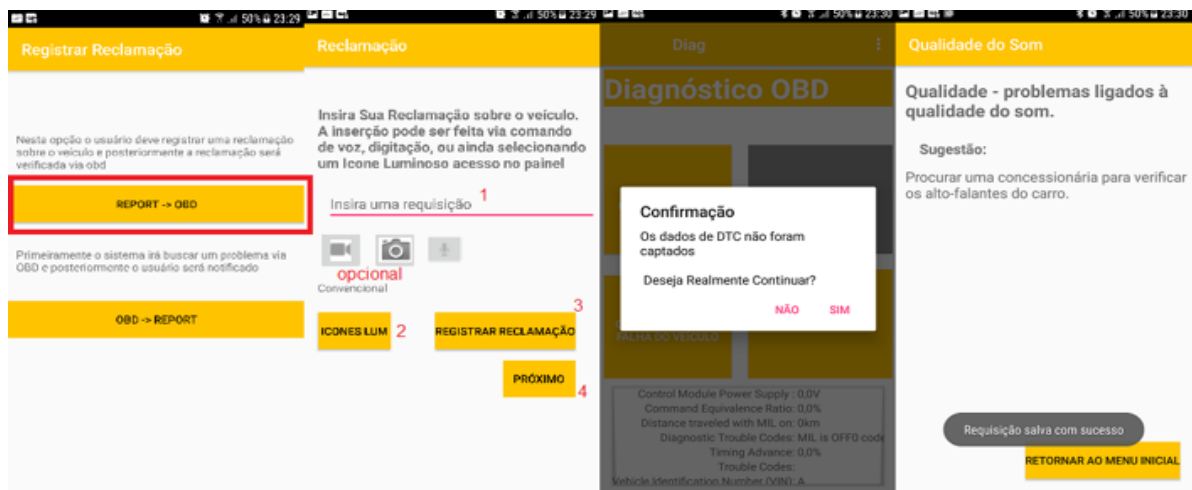


Fig. 3 Cliente registra uma reclamação

reclamações reais de clientes de uma montadora. O processo de coleta destes dados é realizado pela montadora que efetua uma ligação para os clientes que compraram carros no período de 3 a 6 meses. O cliente, por sua vez, relata os problemas que encontrou no veículo. Esta fala é transcrita e salva na base de dados da montadora e recebe o nome de “verbalização do cliente”.

O classificador foi desenvolvido para funcionar em concordância com o método é aplicado atualmente pela montadora. Desta forma, o classificador utiliza um conjunto de palavras chaves para cada classe de problema, e classifica o problema toda vez que uma palavra aparece no texto analisado. Após o término da análise do texto a classe de problema que estiver com maior pontuação representa o problema que se relaciona com a fala do cliente.

O primeiro passo foi conhecer as características das classes relacionadas, as palavras-chave que identificavam cada grupo e as características que as diferenciavam. Para isto foi necessário realizar uma leitura em todos as verbalizações presentes nas instâncias do conjunto de dados. A análise das palavras chaves consistiu na leitura das verbalizações e a identificação das palavras que estão ligadas à classe de problema classificada na base de dados. Assim como no caso dos algoritmos de classificação, a base de dados foi dividida na proporção de 70% para dados de treinamento e 30% para validação. Após a análise do conjunto de dados disponível para a classe de problemas ligados à multimídia<sup>1</sup>, chegou-se aos seguintes conjuntos de palavras-chave: **HandsFree**<sup>2</sup>: celular, smartphone, telefone, fala, voz, atender, agenda falar e discar; **Qualidade do som**: caixa de som, auto-falante, som, sistema de som, eco, ruído, chiado, volume; **Recepção**: estação, estação de rádio, estações de rádio, sintonia, sintonizar, sintonização; **Bluetooth**: conectar, bluetooth, conexão; **USB**: usb, pendrive; **Antena**: antena, anteninha; **GPS**: gps, endereço, localização, mapa.

No caso dos verbos, foi necessário que o programa reconhecesse as suas conjugações. Assim, foram criadas regras que tratavam especificamente das conjugações verbais. A melhor opção seria utilizar um dicionário de radicais, entretanto como o problema é bem específico, a opção foi tratar cada verbo em particular, realizando o processo de extração do radical da palavra (por exemplo, sintonizar = “sinton”).

Assim como sugerido em [31], as palavras chaves não estão nem entre as mais frequentes, e nem entre as menos frequentes;

elas se concentraram em uma área intermediária dentre as palavras mais citadas [32]. Uma vez que as palavras foram categorizadas, o próximo passo foi implementar o algoritmo que seleciona as classes de problemas em função das ocorrências dos termos. O algoritmo analisa as verbalizações, palavra por palavra, contabilizando a palavra caso ela faça parte do conjunto de palavras chaves. Ao final da análise, o grupo de palavras que contém o maior número de ocorrências é o que representará a verbalização. Por exemplo, para a seguinte verbalização: “o veículo está com problema no sistema de som, ouço um constante chiado quando estou em velocidades acima de 100 Km/h”. O resultado da análise é:

0-hf 2-qs 0-rr 0-bt 0-usb 0-an 0-gps. Assim, esta verbalização é classificada como “Qualidade do som”, representando uma reclamação sobre a qualidade do som no veículo.

Por sua vez, o aplicativo desenvolvido para o smartphone tem como objetivo integrar motorista, veículo e servidor. A sua concepção é a garantir que o motorista tenha possibilidade de reportar os problemas que percebe no veículo e consequentemente enviá-los à montadora. Dessa forma, o motorista é incluído no processo de diagnóstico como um “sensor”. Quando o usuário do aplicativo seleciona a função diagnóstico, ele tem duas opções: (i) escolher registrar uma reclamação; e (ii) procurar por uma falha no veículo. Caso o cliente opte por registrar uma reclamação, ele deve primeiramente selecionar a opção “Report->OBD”. Ele será então direcionado para a próxima tela. A Fig. 3 ilustra o processo de registro das percepções do motorista.

Na tela de reclamação o motorista deverá registrar a sua percepção em relação ao veículo. O motorista pode optar por registrar dois tipos de percepções: (i) “Convencional”, ele/ela registra uma reclamação que não está ligada a nenhum ícone luminoso de seu painel; (ii) “Ícones Lum” (indicado com 2 na Fig. 3), ele/ela deve selecionar a opção e então apontar qual é o ícone que ele deseja vincular à sua reclamação. Adicionalmente, também é possível tirar uma foto ou gravar um vídeo para evidenciar o tema central de seu descontentamento. Após o término do processo de digitação (ou captação por voz), o cliente deve registrar sua reclamação e pressionar o botão “Próximo” (indicado com 4 na Fig. 3).

Em seguida, o motorista será direcionado para a tela de Diagnóstico, na qual ele deve solicitar a busca por DTCs através da leitura de dados provenientes da rede CAN. Após o

<sup>1</sup> neste trabalho serão apresentados apenas os dados referentes à multimídia, pois os dados ligados ao motor são protegidos pelo sigilo industrial

<sup>2</sup> função que permite ao motorista atender o celular sem tirar as mãos do volante

fim deste processo de coleta de dados, o motorista é direcionado para a tela de comentários, onde ele/ela é instruído a tomar uma atitude em relação ao problema reportado. Como última ação, o motorista deve finalizar o processo de diagnóstico. Neste momento os dados colhidos são enviados para o servidor da montadora.

No segundo processo de interação entre motorista e veículo (i.e. procurar por uma falha), o sistema encontra uma falha no veículo reportando-a ao motorista para que ele/ela emita sua percepção, que posteriormente será enviada ao servidor da montadora. Nesta opção, o manuseio do sistema é similar ao método de registrar reclamações. A única diferença está na ordem com que as telas aparecem para o cliente: a primeira tela que aparece é a tela de diagnóstico, posteriormente aparece a tela de Reclamação, e a partir desta etapa o processo é o mesmo descrito anteriormente.

É importante mencionar que o aplicativo usa a biblioteca OBD-java-API [39] para aplicar o reconhecimento automático do protocolo utilizado no veículo a ser analisado, enviar e interpretar os comandos desejados. O dongle OBD-II é o dispositivo que se comunica e extrai os dados que trafegam no barramento de comunicação do carro. A sua arquitetura é compatível com os carros que são produzidos na atualidade, permitindo detectar o protocolo utilizado pelo veículo, assim como externalizar esses dados através da comunicação via bluetooth entre o veículo e um módulo externo (e.g. computador ou smartphone).

Por sua vez, o servidor foi desenvolvido seguindo o paradigma *REpresentation State Transfer* (REST), que tem uma implementação mais simples se comparada ao processo de captação dos dados via OBD. Os dados trocados entre os componentes estão estruturados com o formato *JavaScript Object Notation* (JSON). Para gerenciar os dados vindos do smartphone do motorista, foram desenvolvidos os métodos Get, Put, Post and Delete. Esta arquitetura permite que o cliente registre suas notificações, e a montadora/concessionária armazenem essas informações. Naturalmente, deve existir um sistema do lado da montadora/concessionária para analisar essa grande massa de dados, permitindo que o cliente tenha a assessoria necessária. Contudo, este trabalho limitou-se ao desenvolvimento de um sistema simples de confirmação do recebimento das notificações, ficando tal sistema de análise como trabalho futuro.

#### IV. RESULTADOS

Com o sistema descrito na seção III, foi possível simular situações nas quais o cliente efetua uma notificação, o carro busca as informações no veículo e envia para o servidor. Além disso, um outro funcionamento simulado é o motorista selecionar a função de varredura de DTCs. Caso o sistema encontre algo, ele avisa o motorista sobre o erro detectado, e solicita informações adicionais ligadas ao problema detectado com base na numeração de DTC.

Este trabalho foi validado através de experimentos contendo estudos de caso desenvolvidos com base em casos reais que aconteceram na montadora e geraram problema na resolução, devido à falta de informação para diagnosticar o problema. Cada estudo de caso envolvia dados do veículo e informações relatadas pelo motorista. Para o diagnóstico dos problemas, realizou-se entrevistas com especialistas de diagnóstico automotivo. Os especialistas entrevistados responderam à questionários que continham dados dos estudos de casos. O intuito destes experimentos era avaliar o quanto as informações obtidas junto ao cliente poderiam influenciar na análise do profissional de diagnóstico.

O conjunto de perguntas foi selecionado da base de conhecimento da montadora. Elas são as perguntas que idealmente o entrevistador técnico deveria fazer ao motorista. Na abordagem proposta estas perguntas são feitas no momento que o problema é detectado (pelo carro ou pelo motorista). Assim, a concessionária recebe com antecedência um relatório do veículo e pode antecipar a análise antes que o cliente entre com o carro na oficina.

Foram criados dois questionários. O primeiro questionário conta apenas com o texto da reclamação do cliente e as etapas que o mecânico deve realizar para solucionar o problema. Este questionário busca simular como o problema é tratado atualmente pelas concessionárias. Já no segundo questionário, além do texto da reclamação do cliente, também haviam informações adicionais geradas pelo aplicativo que executa no smartphone. Neste caso, o aplicativo faz perguntas relacionadas ao problema classificado, restringindo a quantidade de diagnósticos possíveis a fim de tornar o diagnóstico mais eficaz.

Os questionários foram aplicados em 40 profissionais ligados ao processo de diagnóstico, e.g. engenheiros, analistas de qualidade, recepcionistas técnicos das concessionárias e mecânicos. Para garantir a validade das respostas e evitar o problema de viés nas respostas, cada profissional respondeu apenas um questionário que foi selecionado aleatoriamente.

O impacto da abordagem proposta no processo de diagnóstico foi medido comparando-se o resultado obtido através do primeiro questionário, com o resultado obtido através do segundo questionário. Assim, caso a abordagem aplicada diminui o número de etapas para que o analista efetue o procedimento correto, ela é considerada mais eficiente.

##### A. Estudo de Caso com evidência de captação do DTC

Este estudo de caso avalia uma situação na qual o motorista seleciona a opção para procurar um problema no veículo, e então o sistema encontra uma DTC. O motorista então é questionado sobre o problema, e as informações são enviadas ao servidor.

Neste experimento, o problema que o carro apresentava é um mau acoplamento do chicote elétrico do veículo, de forma que, quando o automóvel passa em solo ondulado, o chicote trepida, fazendo a luz de injeção acender. O motorista nota um indicador luminoso acesso no painel de seu veículo. O motorista acessa o aplicativo, e habilita a função que permite ao software buscar uma possível falha no veículo. O sistema indica que encontrou a DTC número C01061 (que indica falha no sensor de pressão do coletor). O motorista é direcionado para uma tela, na qual ele deve responder: (1) Qual é a frequência que o indicador luminoso de injeção ascende? (Opções: a- Continuadamente, **b- Intermitente**, c- Nunca). (2) Em que situação de direção ocorre? (Opções: a- Solo inclinado, **b-Solo ondulado**, c- Plano, d- Todos). (3) Problema ocorre com: (Opções: a- Motor Frio, b- Motor quente, **c- Ambos**). Para este estudo de caso as respostas estão indicadas em negrito (“Intermitente”, “Solo ondulado”, “Ambos”). O objetivo por trás destas perguntas é refinar o problema, e orientar o analista para o diagnóstico correto.

Ao adicionar as respostas dadas pelo motorista com a DTC detectada no veículo, o analista tem mais informações para realizar o seu processo de diagnóstico. Para este estudo de caso, os entrevistados tinham as seguintes opções: A - Realizar teste de rodagem; B - Analisar o sensor de pressão do

coletor; C - Analisar o calculador de injeção; D - Analisar a conformidade do chicote elétrico do veículo; e E - Outro método não citado. Qual? - opção discursiva. Ação que resolve o problema é analisar o chicote elétrico do veículo.

O questionário 1, i.e. sem as informações extras fornecidas pelo sistema, foi respondido por 20 entrevistados. Resultado foi: 03 teriam como primeira ação analisar o chicote elétrico; 08 teriam feito isso no segundo passo; 05 teriam realizado tal análise no terceiro passo; 03 analisariam o chicote apenas no quarto passo, e 01 entrevistado não analisaria esta opção. Ou seja, 85% dos especialistas que responderam ao questionário sem as informações extras demorariam 2 passos ou mais para resolver o problema.

Por outro lado, os 20 entrevistados que responderam ao questionário 2, e consequentemente possuíam as informações vindas do sistema (i.e. “Intermitente”, “Solo ondulado”, “Ambos”) tiveram desempenho melhor: 14 entrevistados teriam como primeira ação analisar o chicote elétrico, enquanto 01 faria no segundo passo, 03 fariam no terceiro passo, 01 faria no quarto passo, e 01 entrevistado não analisaria esta opção. Ou seja, 70% dos especialistas resolveriam o problema na primeira ação.

Neste experimento, ficou evidente que os entrevistados tomaram a decisão de analisar o chicote em primeiro lugar em função de ter acesso às informações extras. Sendo assim, as informações extras do aplicativo, para este estudo de caso, ajudaram a convergir mais rapidamente para o diagnóstico correto. Mesmo que a melhora tenha sido de apenas uma etapa, para a realidade do cliente, isso implica que ele/ela visitaria menos a concessionária, e consequentemente teria seu veículo consertado mais rapidamente.

#### B. Estudo de Caso com problema não diagnosticável:

No segundo estudo de caso é apresentado a existência de um ruído estranho que ocorre quando o motorista pressiona levemente o pedal de freio. A solução neste caso é realizar a troca dos pinos do cavalete das pinças de freio. Avaliou-se uma situação não diagnosticável pelo sistema do veículo, na qual o cliente relata a existência de um ruído que o incomoda, durante a direção do veículo. O motorista, ao perceber o som desagradável, registra sua percepção no aplicativo. O aplicativo faz o motorista responder as perguntas necessárias, e posteriormente o aplicativo sugere informações relevantes sobre o problema classificado.

O motorista registra sua percepção da seguinte forma: “*so quando diminuo a velocidade, ele faz uns barulhos, somente o barulho mesmo. Acho que é um barulho normal. Com motor quente, em movimento. Não sei a marcha que ele está.*” A palavra-chave identificada pelo aplicativo é “barulho” pois foi repetida três vezes. A palavra “marcha”, que é repetida uma vez, é uma palavra chave para outro problema. Contudo, há uma prevalência das palavras chaves ligadas à “ruído e vibrações”. Dessa forma, o sistema classifica o problema como “Ruídos e Vibrações”. Nenhum DTC é encontrado, e portanto o aplicativo não encontra nenhum problema aparente no veículo que possa evidenciar o ruído percebido.

Este caso é dependente muito das informações do cliente, então o analista precisa ter detalhes sobre em quais condições o ruído aparece no veículo. Isto ajudará no processo de simulação da falha pela concessionária. Então, o cliente é

direcionado para uma tela, na qual ele deve responder: (1) O som se concentra em que parte do veículo? (Opções: **a-Dianteira**, b – Traseira, c- Central). (2) O som ocorre dentro ou fora do habitáculo? (Opções: a- Dentro, **b – Fora**). (3) Tipo do som: (Opções: a – Grave, **b – Agudo**). (4) O som ocorre em qual situação: (Opções: a - Quando piso bruscamente no freio, b - **Quando piso levemente no freio**, c - Em solo ondulado, d - Durante a aceleração).

Para este estudo de caso, os entrevistados tinham as seguintes opções: A - Verificar coxim do motor; B - Realizar teste de rodamagem; C - Verificar pinos do cavalete das pinças de freio; D - Verificar se existe folga na bieleta-suspensão dianteira. Ação que resolve o problema é verificar pinos do cavalete das pinças de freio.

Com a aplicação do questionário 1, 15 entrevistados, ou 75%, realizariam primeiramente um teste de rodamagem para atestar a existência do som relatado pelo motorista. A medida correta para resolver o problema foi em média a terceira opção dos especialistas, sendo que apenas 02 deles realizaram a análise correta na primeira etapa de diagnóstico.

Dentre os 20 especialistas que responderam o questionário 2, 17 deles realizaram a análise correta na primeira etapa de diagnóstico. Este resultado foi mais expressivo, ficando evidente como as informações influenciaram no processo de análise. Esta é a melhora mais significativa nos experimentos realizados pois a solução foi encontrada em duas etapas a menos na média. Para problemas semelhantes ao deste estudo de caso, este resultado poderia indicar que 85% dos clientes sairiam da concessionária com o problema resolvido na primeira visita. Este é um caso importante, já que atualmente a concessionária não consegue identificar este tipo de mau funcionamento. Esta dificuldade se reflete na decisão de realizar o teste rodagem, no qual o mecânico deve reproduzir exatamente a situação relatada pelo cliente. Contudo, pela falta de detalhes/informações nem sempre é possível reproduzir o problema.

#### V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O trabalho propôs uma abordagem para auxiliar o diagnóstico automotivo usando a percepção do motorista captada através de um smartphone e os dados do veículo obtidos através do OBD. Estes dados, além de auxiliarem o diagnóstico dos problemas também são mandados para um servidor na montadora. Além disso, os dados permitem explorar as informações que o cliente e o veículo podem oferecer para enriquecer o diagnóstico que a concessionária aplica para detectar falhas ou problemas.

Com a aplicação da abordagem proposta é possível: (i) permitir uma análise reativa e (ii) por meio dos dados salvos no servidor, permitir que a montadora seja proativa e preveja os problemas que poderão ocorrer com o veículo. Dentre os problemas selecionados para os estudos de caso, buscou-se demonstrar a natureza diversa dos problemas em veículos: desde problemas detectáveis (com DTC presente) até problemas ligados à ruídos dificilmente diagnosticáveis pelos sistemas do veículo.

Os experimentos realizados e os resultados obtidos evidenciaram que a integração de informações vindas do motorista com as da telemetria do veículo pode enriquecer o processo de diagnóstico. Verificou-se uma diminuição no número de ações para a correção no defeito do veículo. O caso mais evidente de melhora no processo de diagnóstico foi o



segundo estudo de caso que representa um problema não detectável diretamente pelo sistema de telemetria. Sem as informações supridas pelo motorista, o especialista necessita realizar três passos para chegar à causa do defeito relacionado ao ruído. Neste contexto cada passo representa uma nova visita do cliente à concessionária. Graças as informações do motorista captadas pelo sistema proposto, 85% dos entrevistados foram direcionados para a ação correta logo no primeiro passo da análise. Assim, o processo de diagnóstico convergiu mais rapidamente para a solução, diminuindo em duas visitas do cliente à concessionária.

A aplicação do questionário com especialistas em diagnóstico automotivo permitiu avaliar os resultados da aplicação da abordagem. Os resultados obtidos indicam a abordagem proposta impactou o processo, pois o número de etapas até a resolução dos problemas diminuiu um passo para o primeiro estudo de caso e três passos para o segundo estudo de caso relacionado à ruídos.

Conclui-se que o método ajudou na melhoria do processo de diagnóstico no ponto de vista das montadoras e concessionárias. Apesar deste trabalho ter focado em problemas ligados à multimídia ou motores, é possível evoluir o classificador para aceitar mais classes de problemas, aumentando assim a capacidade do sistema em detectar erros.

O descobrimento e tratamento destes casos é importante para minimizar o impacto na utilização de veículo pelo cliente. A diferença da quantidade de dias para a descoberta de defeitos pode representar uma quantidade significativa de recursos financeiros economizados tanto na adequação dos veículos, quanto na imagem de marca da empresa.

A tendência de mercado é que o veículo se torne conectado [33], autônomo e auto diagnosticável deixando o motorista (e proprietário) em segundo plano no controle do carro. Este trabalho avaliou não só a possibilidade de “reintegrar” o motorista no processo de avaliações de defeitos, mas também, de que maneira as informações providas por ele poderiam aprimorar o diagnóstico.

Como trabalhos futuros, propõe-se a utilização de outros métodos para a obtenção da percepção do cliente, podendo ser um dispositivo diretamente conectado ao carro, dispensando assim a necessidade do smartphone. Se o objetivo for a aplicação comercial é necessário substituir o smartphone pelo sistema de multimídia do veículo.

#### REFERÊNCIAS

- [1] STARON, M. *Automotive Software Architectures: An Introduction*. Springer, 2017.
- [2] LAWRENZ, W. *CAN system engineering. From theory to practical applications*, New York, 1997.
- [3] GODAVARTY, S.; BROYLES, S.; PARTEN, M. Interfacing to the on-board diagnostic system. In: **Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE-VTS Fall VTC 2000**. 52nd. IEEE, 2000.
- [4] ISERMANN, R. *Fault-diagnosis systems: an introduction from fault detection to fault tolerance*. Springer Science&Business Media, 2006.
- [5] Vector Informatik GmbH. **Introduction to Vehicle Diagnostics**. 2016.
- [6] Gill, N.; Winkler, M. *Cars Online 2014 - Generation Connected. Capgemini Study*. 2014. [https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/cars\\_online\\_2014\\_final\\_web\\_group\\_1.pdf](https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/cars_online_2014_final_web_group_1.pdf)
- [7] DE OLIVEIRA, Leonardo Presoto; WEHRMEISTER, Marco Aurélio; DE OLIVEIRA, André Schneider. Systematic Literature Review on Automotive Diagnostics. In: **Computing Systems Engineering (SBESC), 2017 VII Brazilian Symposium on. IEEE**, 2017. p. 1-8.
- [8] GAO, Ai Lin; WU, Yan Xiang. A design of voice control car base on spe061a single chip. In: **Electronics, Computer and Applications, 2014 IEEE Workshop on. IEEE**, 2014. p. 214-217.
- [9] CHEN, S; CHEN, J; LU, K. The use of cloud speech recognition technology in vehicle diagnosis applications. In: **Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), 2011 Fifth International Conference on. IEEE**, 2011. p. 567-570.
- [10] VARRIER, S.; KOENIG, D.; MARTINEZ, J. J. Robust fault detection for vehicle lateral dynamics. In: **Decision and Control (CDC), 2012 IEEE 51st Annual Conference on. IEEE**, 2012. p. 4366-4371.
- [11] TANG, K. Z. et al. Development of a remote telemetry and diagnostic system for electric vehicles and electric vehicle supply equipment. In: **Control and Automation (ICCA), 2013 10th IEEE International Conference on. IEEE**, 2013. p. 609-613.
- [12] HÄNDEL, Peter et al. Smartphone-based measurement systems for road vehicle traffic monitoring and usage-based insurance. **IEEE Systems Journal**, v. 8, n. 4, p. 1238-1248, 2014.
- [13] POSTOLACHE, Mihai; NEAMTU, Gabriel; TROFIN, Sorin Dumitru. CAN-Ethernet gateway for automotive applications. In: **System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2013 17th International Conference. IEEE**, 2013. p. 422-427.
- [14] YUN, Doo Seop et al. A study on the vehicular wireless base-station for in-vehicle wireless sensor network system. In: **Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2014 International Conference on. IEEE**, 2014. p. 609-610.
- [15] ZHOU, Y.; ZHANG, Y.. Applications of Bayesian Network in Fault Diagnosis of Braking Deviation System. In: **Int. Symp. on Computational Intelligence and Design (ISCID)**, 2011. p. 170-173.
- [16] SURESH, Vaishnavi; NIRMALRANI, V. Android based vehicle diagnostics and early fault estimation system. In: **Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), 2014 International Conference on. IEEE**, 2014. p. 417-421.
- [17] WANG, Zhao et al. Design of an arduino-based smart car. In: **SoC Design Conference (ISOCC), 2014 International. 2014**. p. 175-176.
- [18] SALUNKE, A.A.; JAKHETE, M.D. Designing and Modeling of Distant Words Recognition Pattern System for the Motion Control Systems in Vehicles. *Journal of Science and Research, IJSR*. v.4, 2015.
- [19] PALLADINO, A.; FIENGO, G.; LANZO, D. A portable hardware-in-the-loop (HIL) device for automotive diagnostic control systems. **ISA transactions**, v. 51, n. 1, p. 229-236, 2012.
- [20] SZYMAŃSKI, G. M. et al. Application of time–frequency analysis to the evaluation of the condition of car suspension. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 58, p. 298-307, 2015.
- [21] LU, Yi; CHEN, Tie Qi; HAMILTON, Brennan. A fuzzy diagnostic model and its application in automotive engineering diagnosis. **Applied Intelligence**, v. 9, n. 3, p. 231-243, 1998.
- [22] BARONE, Stefano; D'AMBROSIO, Paolo; ERTO, Pasquale. A statistical monitoring approach for automotive on-board diagnostic systems. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 23, n. 5, p. 565-575, 2007.
- [23] KRÜGER, I. et al. Improving the development process for automotive diagnostics. In: **Proceedings of the International Conference on Software and System Process**. IEEE Press, 2012. p. 63-67.
- [24] JING, Yuxin et al. AndroRC: An Android remote control car unit for search missions. In: **Systems, Applications and Technology Conference (LISAT), 2014 IEEE Long Island. IEEE**, 2014. p. 1-5.
- [25] YOON, Jae-Hwan et al. Communication architecture and application for vehicle to nomadic devices communication. In: **Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2014 International Conference on. IEEE**, 2014. p. 681-682.
- [26] RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. *Artificial intelligence: a modern approach (International Edition)*. 2002.
- [27] WITTEN, Ian H. et al. **Data Mining: Practical machine learning tools and techniques**. Morgan Kaufmann, 2016.
- [28] HAN, Jiawei; PEI, Jian; KAMBER, Micheline. **Data mining: concepts and techniques**. Elsevier, 2011.
- [29] CHO, Y.H.; KIM, J.K.; KIM, S.H.. A personalized recommender system based on web usage mining and decision tree induction. **Expert systems with Applications**, v. 23, n. 3, p. 329-342, 2002.
- [30] LUHN, Hans Peter. The automatic creation of literature abstracts. **IBM Journal of research and development**, v. 2, n. 2, p. 159-165, 1958.
- [31] SILLA JR, Carlos N.; KAESTNER, Celso AA. Estudo de métodos automáticos para sumarização de textos. **Simpósio de Tecnologias de Documentos**, p. 45-49, 2002.
- [32] P. Pires. **Obd-ii java api**. <https://github.com/pires/obd-java-api>. Acessado:27-07-2018
- [33] SUGAYAMA, Ricardo; NEGRELLI, Evaldir. Veículo conectado na rota da indústria 4.0. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 3, n. 1, p. 48-63, 2016.