



INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

Título do Trabalho: Estudo de Alternativas à Rede CAN Automotiva

Autores: Andrey Gustavo de Souza, Gustavo Lobato Campos

Palavras-chave: Rede CAN, Rede Ethernet Automotiva, Redes Automotivas.

Campus: Formiga

Área do Conhecimento (CNPq): 3.04.00.00-7 - Engenharia Elétrica

RESUMO

A constante evolução dos sistemas eletrônicos na indústria automotiva vem exigindo cada vez mais a implementação de alternativas para sistemas de comunicação *in-car* utilizando atualmente: o protocolo CAN. Esse protocolo tem larga aplicação em diversos segmentos por sua robustez, segurança e atuação em tempo real, mas sua largura de banda limitada não permite que sistemas veiculares avançados utilizem sua rede para operação eficiente. A motivação desse projeto é o estudo aprofundado da arquitetura CAN e de possíveis alternativas a essa tecnologia, sobretudo à rede Ethernet e suas variantes para aplicação automotiva. Tal área vêm recebendo atenção especial da indústria automotiva na busca por possíveis alternativas à rede CAN, hoje vastamente empregada. Também é feita uma revisão bibliográfica da nova variação da rede CAN automotiva com uma taxa de dados flexível, o CAN-FD. A rede Ethernet automotiva, forte candidata em ser a principal rede veicular nos próximos anos é estudada, levando-se em conta as principais mudanças que a adoção dessa rede acarretará. É válido destacar a parceria firmada entre a montadora FIAT e IFMG, onde a companhia demonstra interesse em pesquisas na área.

INTRODUÇÃO:

Nos últimos tempos a tecnologia vem avançando de forma exponencial em diversos segmentos, com dispositivos eletrônicos cada vez mais potentes, funcionais e interconectados, fazendo com que a oferta de informações das mais variadas origens esteja disponível ao usuário. Com a indústria automobilística não foi diferente, onde o número de centrais eletrônicas (ECU's) têm aumentado exponencialmente trazendo novas possibilidades ao condutor e passageiros, em requisitos como segurança, assistência ao motorista, entretenimento ou conforto. Outra tendência mundial, que irá contribuir para esse aumento do número de ECU's, é o conceito de *connected cars*, onde veículos comunicam-se entre si e com a web, compartilhando informações pertinentes a uma condução segura do veículo, como distância segura entre veículos, notificação de acidentes em trechos seguintes, entre outros. Esse aumento de serviços e informações disponíveis traz consigo a necessidade de se ter uma rede de comunicação veicular que faça essa comunicação entre as ECU's e os diversos sensores e atuadores que estão presentes no veículo, que caracterizam a arquitetura eletroeletrônica do veículo (BOTERENBROOD, 2000).

As arquiteturas eletroeletrônicas automotivas são os componentes responsáveis por todo o sistema elétrico do veículo, desde baterias, cabos de transmissão de sinais e energia (chicotes), centrais elétricas, entre outros. Um dos principais fatores que definem uma arquitetura eletroeletrônica é a forma como os elementos supracitados são conectados entre si, especialmente as ECU's. Essa conexão definirá quais funções estarão presentes no veículo, bem como o modo como essas funções correlacionarão. Pode-se dividir as arquiteturas eletroeletrônicas em dois tipos de estruturas: sistema convencional não-multiplexado ou arquitetura centralizada e o sistema de comunicação multiplexado ou arquitetura distribuída.



O sistema convencional de controle automotivo é realizado por meio de uma arquitetura *point-to-point*, isto é, cada central deve estar conectada com todas as outras centrais, caso haja a necessidade do compartilhamento de informações entre elas. Não existe uma uniformidade no caminho tomado pela mesma informação (DI NATALE et al., 2012). Essa configuração é conhecida como arquitetura centralizada, uma vez que surge a necessidade de um módulo central estar conectado as outras centrais eletrônicas. Isso resulta em uma grande quantidade de cabos necessários, a fim de se realizar uma comunicação eficiente. Uma vantagem desse tipo de sistema é simplicidade de implementação. Em contrapartida, existe uma complexidade em se expandir o sistema. A Figura 01 mostra um diagrama de uma rede de controle veicular simplificada.

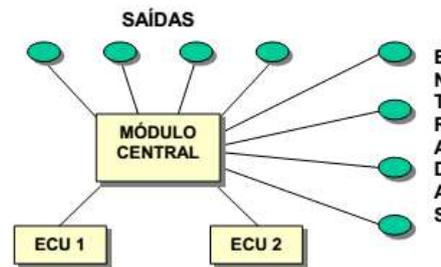


Fig. 01. Esquemático de uma arquitetura de comunicação veicular centralizada (DE ALMEIDA GUIMARÃES; SARAIVA, 2002)

Um sistema de comunicação multiplexado, tal como mostrado na Figura 02, é um sistema que intercala mensagens em um barramento em curtos espaço de tempo, utilizando um barramento elétrico, que percorre toda a extensão do veículo, onde todos os dispositivos são conectados a ele e capazes de comunicar entre si através de um endereçamento na mensagem (DI NATALE et al., 2012). Isso evita um cabeamento excessivo entre as diferentes centrais eletrônicas, sensores e atuadores presentes no automóvel. Essas informações podem ser referentes à temperatura, consumo de combustível, velocidade, status do alarme, iluminação, acionamento de ABS, acionamento de air-bags, dentre várias outras.

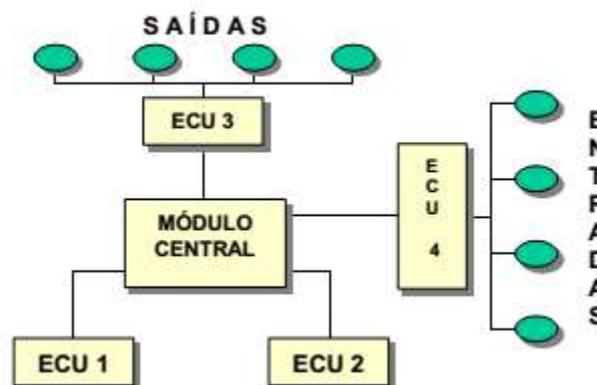


Fig. 02. Esquemático de uma arquitetura de comunicação veicular distribuída (DE ALMEIDA GUIMARÃES; SARAIVA, 2002).

A arquitetura distribuída resulta em um sistema mais simples, com cabeamento reduzido e com maior possibilidade de expansão, quando comparado a sistemas automotivos de arquitetura centralizada. A comunicação entre centrais de um sistema de arquitetura distribuída é feita por um *software* de controle de rede, que implementa um protocolo de comunicação capaz de prover segurança e confiabilidade na



transmissão de mensagens. Grande parte dos automóveis da atualidade tem seu sistema de comunicação baseado no padrão *Controller Area Network* (CAN). CAN é um protocolo de transmissão de dados de difusão seletiva, resolução determinística, baixo custo e simples implementação desenvolvido pela Bosch, em meados da década de 1980 (FREDRIKSSON, 1996), para prover um sistema de comunicação automotiva com um alto custo benefício. O sistema CAN trata-se fisicamente de um barramento de transmissão digital que opera com largura de banda entre 20kbps e 1Mbps (DI NATALE et al., 2012).

A taxa de transmissão da rede CAN depende do comprimento do barramento e da capacidade do equipamento transmissor. Com as características citadas, o sistema CAN é adequado para aplicações que requerem um grande número de curtas mensagens que devem ser transmitidas em um ambiente hostil, sem comprometer a confiabilidade e eficiência da comunicação (JOHANSSON; TÖRNGREN; NIELSEN, 2005).

Contudo, o aumento do número de centrais e o início do uso de aplicações multimídia, fazem com que a largura de banda ofertada pela rede CAN automotiva não seja mais suficiente. Essa limitação na largura de banda levou a indústria a buscar alternativas para esta rede. Uma solução paliativa para esse problema foi o desenvolvimento da rede CAN com taxa de dados flexível, (*Flexible Data Rate* – FD), que apresenta taxas de transmissão superiores a 8 Mbps (HARTWICH et al., 2012). Apesar de oferecer uma largura de banda 8 vezes maior que a rede CAN tradicional, a rede CAN-FD ainda não atende aos requisitos de largura de banda que aplicações multimídia necessitam (entre 10 Mbps e 100 Mbps). A solução que vem sendo desenvolvida é o uso da rede Ethernet em aplicações veiculares, onde o objetivo da indústria é a médio prazo fazer com que a rede Ethernet seja a rede *backbone* (rede de comunicação principal do veículo) do veículo. Mas para tal, ela deve atender vários requisitos a fim de se garantir uma operação segura e confiável, algo que é atendido pela rede CAN.

A rede Ethernet automotiva é uma rede física que é usada para se conectar diversos componentes dentro do veículo usando uma rede cabeada. Essa tecnologia vem sendo desenvolvida a fim de se atender as necessidades do mercado automobilístico, o que engloba o atendimento de requerimentos elétricos, tais como interferências eletromagnéticas e de radiofrequências, oferecimento da largura de banda requerida, latência, sincronização e gerenciamento de rede. Inúmeras especificações e revisões vem sendo feitas, devendo se destacar as feitas pelos grupos IEEE 802.3 e 802.1. Porém outros grupos formados por empresas do ramo automobilístico vêm se destacando no desenvolvimento da rede Ethernet automotiva.

O principal consórcio desenvolvedor desta tecnologia é o Grupo OPEN (One-Pair Ethernet), liderados pela Broadcom, em parceria com as principais montadoras de automóveis do mundo. Esse grupo desenvolvedor apresenta uma camada física de 100Mbps com tecnologia baseada na rede Gigabit Ethernet, que proporciona transmissões de dados através de um simples par em ambas direções, usando cancelamento de eco. Essa especificação faz uso de avançados recursos de codificação, que reduz a frequência de 125 MHz para 66 MHz que permite a rede Ethernet atender os requerimentos de interferências eletromagnéticas e de radiofrequências (KERN, 2012).

O protocolo Ethernet é padronizado pelo grupo de trabalho do IEEE 802.3 e contém diversos padrões que definem as camadas físicas e de enlace em uma rede de comunicações. Dentre as mais conhecidas então os padrões Fast Ethernet e Gigabit Ethernet, vastamente utilizada no cotidiano de residências, comércio e indústria, seja em redes domésticas, corporativas e em redes industriais (controle e automação de processos). Para camadas superiores, os protocolos mais usados são o *Internet Protocol*



(IP) e o *User Datagram Protocol* (UDP), sendo ambos aceitos ao redor do mundo como protocolo de acesso padrão à Internet (VECTOR, 2015).

As redes automotivas são tópicos de grande relevância atualmente, uma vez que cada vez mais dispositivos eletrônicos estão presentes nos veículos, em sua maioria para dar ao motorista e passageiros maior segurança e conforto. Hoje, a principal rede empregada (rede CAN) tem pontos restritivos, ao considerar a evolução mercadológica do setor e mesmo em lançamentos recentes, que oferecem cada vez mais recursos que necessitam de uma rede com uma largura de banda generosa. Logo, o estudo de uma rede alternativa à rede atual é de grande importância para o setor automobilístico mundial e brasileiro, visto que esse setor é um dos principais ramos industriais do país. Deve-se ainda destacar a relevância do tema pela parceria constituída entre FIAT e IFMG no ano de 2014, onde a empresa demonstra interesse em pesquisas acadêmicas, favorecendo o desenvolvimento e estudo de tecnologias automotivas.

METODOLOGIA:

A metodologia aplicada para desenvolvimento deste projeto é fundamentada na pesquisa bibliográfica relacionada à rede CAN, focando-se prioritariamente em sua aplicação ao setor automotivo. Na fase inicial desta pesquisa, buscou-se materiais introdutórios referentes à rede CAN. Várias ferramentas foram empregadas, tais como Google Scholar, Elsevier e materiais técnicos fornecidos por empresas do ramo, tais como Vector, Bosch, Texas Instruments, etc. Um acervo de artigos e outras publicações foi criado para consultas futuras.

Após o estudo dos materiais supracitados, iniciou-se um estudo para identificar as vantagens e desvantagens da rede CAN, levando em consideração as principais características da mesma. Esse estudo resultou na elaboração de um artigo em fase de submissão que traz uma visão geral da tecnologia CAN.

Ao final da confecção desse artigo, se iniciou a pesquisa bibliográfica com foco em redes e protocolos com potencial de substituir a rede CAN veicular, baseado em suas principais desvantagens, conforme identificado na primeira fase da pesquisa deste projeto. Um estudo da rede CAN-FD, uma evolução da rede CAN tradicional, foi feito a fim de se contemporizar os aprimoramentos que a rede CAN foi submetida.

Destaca-se ainda que uma das principais candidatas a substituir a rede CAN no setor automotivo, é a rede Ethernet. Ciente disso, foi feito um estudo do estado da arte em que se encontra desenvolvimento da rede Ethernet automotiva. Identificou-se, que a rede Ethernet ainda não está apta para substituir por inteiro a rede CAN, porém já existem protocolos, como o Ethernet AVB, que já apresentam boas perspectivas para substituir algumas redes veiculares voltadas a transmissão de áudio e vídeo, ou seja, um cenário intermediário, com presença de rede CAN e Ethernet. Importante citar que o Grupo OPEN está focado em desenvolver uma rede Ethernet automotiva que atenda todos os requisitos necessários para a completa substituição da rede CAN pela rede Ethernet, logo deixando a última robusta o suficiente para passar pelos duros requisitos exigidos pelo setor automotivo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA REDE CAN AUTOMOTIVA



A rede CAN automotiva tem por muitos anos servido como principal rede veicular justamente por ser uma rede extremamente segura, confiável e rápida para o desempenho de determinadas funções de segurança, controle e entretenimento. Dentro da arquitetura de rede veicular, existem quatro grandes áreas de aplicação:

- **Multimídia:** Recursos de navegação, conectividade com dispositivos móveis, conectividade com a Internet, etc.
- **Carroceria:** Controle de iluminação, climatização, controle de portas (travas, vidros e espelhos).
- **Propulsor:** Gerenciamento de motor e controle de câmbio.
- **Dinâmica do veículo:** Recursos como freio automático, direção automática, modo de cruzeiro, etc.

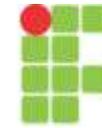
Cada uma dessas funções tem necessidades particulares, que envolvem a largura de banda suportada pela rede, tempo de resposta, susceptibilidade a erros, entre outras. A rede CAN tem um desempenho satisfatório para a maioria dessas áreas de aplicação, como um processamento rápido para funções de propulsão e dinâmica. Funções de carroceria necessitam de uma interface direta com o motorista que muitas vezes não necessariamente devem ser processados em altas velocidades, respeitando apenas o tempo de resposta humana.

A grande lacuna que a rede CAN tem dificuldade de preencher é justamente em aplicações multimídia, pois essa área demanda de uma largura de banda entre 10 Mbps e 100 Mbps, em casos de aplicações em streaming de áudio e vídeo. Em veículos que oferecem recursos multimídia avançados, existe uma necessidade de usar-se uma rede em paralelo com a rede CAN, que atenda essas necessidades. Grande parte das montadoras tem empregado para essa função específica o protocolo proprietário MOST (*Media Oriented System Transport*), que oferece taxas de transmissão em torno de 23 Mbps (TUOHY et al., 2014).

Uma solução paliativa para a oferta de largura de banda que a rede CAN deixa a desejar é o protocolo CAN com uma taxa de dados flexível (*Flexible Data Rate – FD*) (HARTWICH, 2012). Essa versão aprimorada do protocolo CAN tradicional apresenta taxas de transmissão superiores a 8 Mbps. Essa versão melhorada foi possível graças a dois principais aprimoramentos no protocolo CAN tradicional (SAUERWALD, 2014):

- **Dual bit rate:** os quadros de mensagens da rede CAN-FD têm dois tempos diferentes para os bits de dados e os bits de cabeçalho e rodapé, e outro para o quadro de dados.
 - Tempo de bit normal: O tempo de bit para os campos antes e depois dos dados de carga útil tem o mesmo tempo de bit que o protocolo CAN tradicional.
 - Tempo de bit reduzido: A fim de se obter taxas de transmissões superiores, o CAN-FD permite que alguns campos de uma mensagem tenham tempos de bits menores. Esses campos são o campo de dados, o campo de controle, o tamanho de mensagem. O requerimento de temporização é menos rígido no CAN-FD, uma vez que é garantido que os dispositivos transmitirão um após o outro. A arbitração orientada a bit não é necessária nesse caso.
- O tamanho do campo de dados de carga útil tem tamanho variável podendo chegar a 64 bytes, 8 vezes maior que no protocolo CAN tradicional.

VANTAGENS E DESVANTAGENS DA REDE ETHERNET AUTOMOTIVA



Se comparada a rede CAN tradicional, a rede Ethernet oferece uma carga de dados útil superior a 185 vezes maior, com cerca de 1500 bytes por mensagem, transmitidos a velocidades maiores que 100 Mbps. O principal motivo que leva a indústria automotiva a focar na adaptação dessa tecnologia em aplicações de redes veiculares é a aptidão que a rede Ethernet/IP em ser aplicada em diversas áreas com eficiência. Uma prova disso é seu uso em redes industriais, que requer uma confiabilidade e rapidez na transmissão de dados oriundos de sensores, controladores e a transmissão destes até a interface com o usuário. Sabe-se que em inúmeras aplicações industriais o ambiente não é favorável à transmissão de dados.

Assim como acontece no protocolo CAN-FD, a rede Ethernet apresenta a possibilidade de se transmitir mensagens com diferentes tamanhos de *frames* de dados de carga útil, que garante uma comunicação mais eficiente. Além do tamanho dos frames de carga útil, a rede Ethernet difere drasticamente da rede CAN no que diz respeito a topologia de rede utilizada. Enquanto CAN utiliza de um barramento clássico e FlexRay é implementada sob uma topologia estrela (apesar de se comportar na prática como um barramento), onde uma mensagem no barramento é transmitida a todos os nós e cada nó decide se essa mensagem é relevante a ele e se será posteriormente processada. No caso da rede CAN, essa arbitragem é feita por meio do campo ID no cabeçalho da mensagem. Não existe a opção de se selecionar o envio da mensagem a um único destinatário. Esse tipo de envio de mensagem a todos os nós caracteriza a rede CAN e FlexRay como *broadcast media*.

Diferente das redes supracitadas, a rede Ethernet faz uso de uma topologia ramificada, tal como apresentado na Figura 03, que faz uso de switches que evitam colisões e o envio de ponto-à-ponto das mensagens. Cada nó da rede Ethernet tem o seu próprio endereço MAC (*Media Access Control*), o qual é usado como endereço único do dispositivo na rede, ou seja, o nó só processa a mensagem se a mensagem tiver ele como destinatário. Essa relação de comunicação 1:1 é chamada de endereçamento *unicast*. Na topologia de rede, o switch tem a função de “aprender” a direção de cada endereço dos nós e somente enviar a mensagem no barramento onde está localizado o nó recipiente da mensagem. Além disso, o switch permite a transmissão de múltiplas mensagens *unicast (multicast)*. Em suma, uma rede Ethernet provê troca de mensagens de 1:1 (*unicast*), 1:n (*multicast*) e 1:all (*broadcast*), o que garante eficiência e velocidade na transmissão de dados no veículo.

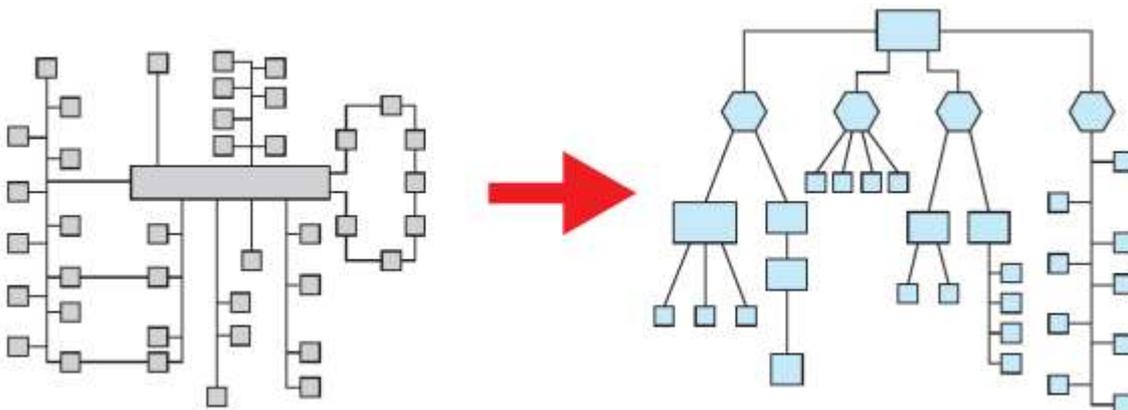


Fig. 03. Mudança de topologia da rede CAN (barramento) para rede Ethernet (ramificada) (IXIA, 2014).

A rede Ethernet está preparada para ser usada em aplicações que requerem comunicação entre o veículo e o mundo ao seu redor. Dentre essas aplicações pode-se citar (PRADEEP, [s.d.]):

- Diagnóstico do veículo.



- *Car-2-car communication*: veículos comunicam entre si, mantendo um ao outro informações sobre distância segura e sistemas de prevenção de acidentes.
- *Download de software* para as ECU's.
- Carregamento de veículos elétricos.

Algumas vantagens já são percebidas com relação ao uso da rede Ethernet em aplicações automotivas (IXIA, 2014):

- Produção em massa dos componentes Ethernet automotivos reduzirão drasticamente o custo do sistema.
- Aumento significativo da largura de banda disponível sem impactar negativamente na segurança, funcionalidade e performance.
- Isolação galvânica devido ao acoplamento por transformadores.

Porém alguns desafios devem ser superados para a rede Ethernet, que ainda não permitem ela ser utilizada como a principal rede de comunicação automotiva, entre eles pode-se citar (IXIA, 2014):

- A rede Ethernet automotiva não atende aos requisitos das montadoras no que diz respeito a interferências eletromagnéticas e por radiofrequências. A rede Ethernet de 100 Mbps e de capacidades superiores produzem muito ruído que pode causar perdas de pacotes e consequente perda na eficiência e confiabilidade do sistema. Além disso a rede Ethernet está susceptível a sofrer interferências oriundas de outros dispositivos e componentes operando dentro do veículo.
- A rede Ethernet automotiva ainda não garante uma latência na casa dos microssegundos. Essa latência é requerida para qualquer rede de comunicação entre sensores e controladores que demandam de um tempo de reação rápido (propulsão e dinâmica).
- A rede Ethernet automotiva não tem um modo de controle da alocação da largura de banda para diferentes aplicações. Isso implica que a rede Ethernet não pode ser usada para transmitir dados de diferentes fontes ao mesmo tempo.

CONCLUSÕES:

A proposta desse trabalho é realizar um estudo comparativo entre a rede CAN automotiva e suas possíveis substitutas em um futuro próximo. Para tal, essas redes devem ser capazes de atender todos os requerimentos, uma vez que o ambiente veicular é um ambiente praticamente intolerável a falhas, já que estas podem resultar em acidentes.

Na primeira fase deste projeto, foi realizado um estudo relativo à todas as características da rede CAN automotiva. Como resultado tem-se a produção de um artigo relativo as características dessa rede, bem como seus pontos fortes e suas limitações.

Para a segunda fase, o foco foi a rede Ethernet automotiva, que se apresenta como forte candidata como a futura *backbone network* para transmissões de dados no ambiente veicular, justamente por preencher uma importante lacuna não coberta pela rede CAN, a capacidade de transmissão de dados. A rede Ethernet em um mesmo meio físico pode transmitir até 185 vezes mais dados que a rede CAN. Apesar da implementação da rede CAN-FD, uma versão aprimorada da rede CAN tradicional, que tem uma largura de banda 8 vezes maior que a rede CAN, a médio prazo essa deficiência na largura de banda será



inconcebível, principalmente para aplicações de transmissões de áudio e vídeo, assistência ao motorista e outras funções avançadas esperadas no mercado em pouco tempo.

Atualmente a rede Ethernet AVB já trabalha com transmissões de áudio e vídeo, mas não em funções mais delicadas do veículo, como motor e segurança. Um dos motivos pelo qual a rede Ethernet ainda não é implementado como rede principal é a confiabilidade que a rede CAN proporciona. A rede CAN é conhecida pela sua confiabilidade mesmo em ambientes com interferência eletromagnética o que ainda não é garantido pela rede Ethernet.

Apesar disso, grandes empresas estão focadas no desenvolvimento de aplicações que envolvem a rede Ethernet, por ser uma rede que se adapta facilmente a diferentes situações e atende ao requisito de ter uma largura de banda generosa, um requisito importante que deixa a desejar na rede CAN automotiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BOTERENBROOD, H. CANopen high-level protocol for CAN-bus. **NIKHEF internal documentation NIKHEF Amsterdam Version**, v. 3, p. 1–23, 2000.

DE ALMEIDA GUIMARÃES, A.; SARAIVA, A. M. O Protocolo CAN: Entendendo e Implementando uma Rede de Comunicação Serial de Dados baseada no Barramento “Controller Area Network”. p. 1–10, 2002.

DI NATALE, M. et al. Understanding and Using the Controller Area Network Communication Protocol: Theory and Practice. **inst. eecs. berkeley. edu/~ ee249/fa08/Lectures/ ...**, 2012.

FREDRIKSSON, L.-B. A CAN Kingdom. 1996.

HARTWICH, F. et al. CAN with flexible data-rate. p. 10–19, 2012.

HARTWICH, F. CAN with Flexible Data-Rate. **CAN in Automation**, n. i, 2012.

IXIA. Automotive Ethernet : An Overview.

JOHANSSON, K. H.; TÖRNGREN, M.; NIELSEN, L. Vehicle Applications of Controller Area Network. **Handbook of Networked and Embedded Control Systems**, v. VI, p. 741–765, 2005.

KERN, A. Ethernet and IP for Automotive E / E-Architectures Technology Analysis , Migration Concepts and Infrastructure. 2012.

PRADEEP, Y. B. CAN-FD and Ethernet Create Fast Reliable Automotive Data Buses for the Next Decade. v. 10, p. 36–43, [s.d.].

SAUERWALD, B. M. CAN bus, Ethernet, or FPD-Link: Which is best for automotive communications? 2014.

TUOHY, S. et al. Intra-Vehicle Networks : A Review. p. 1–12, 2014.

VECTOR. New Communication Paradigms in Automotive Networking Ethernet and CAN FD are the new trailblazers. n. August, p. 1–5, 2015.