

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS PARA INDÚSTRIA
AUTOMOTIVA

WELLINGTON KENIDY MARQUES

**QUALITY-OF-SERVICE EM ARQUITETURAS ELETRÔNICAS
VEICULARES BASEADAS EM REDE ETHERNET AUTOMOTIVA: UM
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2021

WELLINGTON KENIDY MARQUES

**QUALITY-OF-SERVICE EM ARQUITETURAS ELETRÔNICAS
VEICULARES BASEADAS EM REDE ETHERNET AUTOMOTIVA: UM
MAPEAMENTO SISTEMÁTICO**

Monografia de Especialização,
apresentada ao Curso de Especialização
em Sistemas Embarcados para Indústria
Automotiva, do Departamento Acadêmico
de Eletrônica – DAELN, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR,
como requisito parcial para obtenção do
título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Max Mauro Dias
Santos

CURITIBA
2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria
Automotiva



TERMO DE APROVAÇÃO

QUALITY-OF-SERVICE EM ARQUITETURAS ELETRÔNICAS VEICULARES BASEADAS EM REDE ETHERNET AUTOMOTIVA: UM MAPEAMENTO SISTEMÁTICO

por

WELLINGTON KENIDY MARQUES

Esta monografia foi apresentada em 08 de Dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à minha esposa e aos meus pais que sempre me apoiaram e acreditaram na minha trajetória profissional e acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos por todo o conhecimento e aconselhamento compartilhados durante minha trajetória acadêmica. Aprender com o professor e pesquisador nacionalmente referenciado na área de redes automotivas é de grande valia para um dia, seguindo seus passos, também tornar-me um especialista na área.

Ao instrutor e amigo engenheiro de aplicações Jonatas Xavier da empresa Vector Informática Brasil, por toda a paciência, disponibilidade e dedicação durante os vários treinamentos e seminários aos quais tive o prazer de participar. A didática, detalhamento e motivação durante a explicação de cada tópico foi de extrema importância para o entendimento da área em especialização.

A minha avó Maria Culpí Marques por me acolher com amor e carinho em sua residência em Curitiba nos finais de semana dedicados a este curso de especialização.

Aos meus pais José Ricardo Marques e Neusa Makovski Marques que sempre investiram muito em meus estudos e em oportunidades de capacitação profissional, às quais sempre valorizei e me dediquei ao máximo para retribuir com mérito e com bons resultados.

E por fim, a minha esposa Julia Helena Scharmitzel por todo o apoio emocional em momentos difíceis, compreensão pelos momentos de lazer que sacrificamos juntos por nossa educação acadêmica e pelo incentivo à carreira profissional que escolhi seguir.

RESUMO

MARQUES, Wellington Kenidy. **Quality-of-Service em arquiteturas eletrônicas veiculares baseadas em rede Ethernet Automotiva**: um mapeamento sistemático. 2021. 38 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

Redes de comunicação automotiva estão sempre em constante evolução. Com o desenvolvimento de novos sistemas eletrônicos e com inovadoras demandas de aplicações embarcadas em veículos, novos tipos de rede e também novas versões de redes já existentes são embarcadas, assim também, como novas distribuições das unidades eletrônicas são propostas em arquiteturas eletrônicas veiculares. Atualmente a rede automotiva que possibilita grande quantidade de aplicações é a chamada Ethernet Automotiva. Para garantir a qualidade do serviço requisitado por aplicações veiculares com rede Ethernet, desenvolvem-se padrões e metodologias de *Quality-of-Service*. Este trabalho apresenta a execução de um mapeamento sistemático com o objetivo de encontrar informações atualizadas de novas demandas e necessidades exigidas em redes veiculares assim como a abordagem ou metodologia aplicada para garantir a qualidade dos serviços. O método de pesquisa adotado foi o mapeamento sistemático onde 251 trabalhos de pesquisa foram encontrados através de um protocolo de busca definido. Todos os trabalhos encontrados foram classificados conforme critérios de inclusão e exclusão, em seguida filtrados por critério de qualificação na área de Ciência da Computação e ainda filtrados por falso positivo, isto é, apenas artigos com estado-da-arte em aplicações automotivas foram aprovados. Os seis artigos resultantes do mapeamento, foram analisados e discutidos onde foi possível identificar que grande parte das pesquisas são relacionadas a validação de middlewares e de mecanismos modeladores de tráfego de rede.

Palavras-chave: Quality-of-Service. Ethernet Automotiva. Redes automotivas. Arquiteturas eletrônicas veiculares. Mapeamento sistemático.

ABSTRACT

MARQUES, Wellington Kenidy. **Quality-of-Service at vehicle electronic architectures based on Automotive Ethernet networking**: a systematic mapping. 2021. 38 p. Monografia de Especialização em Sistemas Embarcados para Indústria Automotiva, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

In-vehicle networking are constantly evolving. New types of networks and also new versions of existing networks are embedded, as well as new distributions of electronic units are proposed in vehicular electronic architectures with the development of new electronic systems and innovative demands for embedded applications in vehicles. Currently, the automotive network that enables a large number of applications is the so-called Automotive Ethernet. In order to guarantee the quality of service required by vehicular applications with Ethernet network, Quality-of-Service standards and methodologies are developed. This work presents the implementation of a systematic mapping in order to find updated information on new demands and needs required in vehicular networks as well as the approach or methodology applied to ensure the quality of services. The research method adopted was systematic mapping where 251 research papers were found through a defined search protocol. All works found were classified according to inclusion and exclusion criteria, then filtered by qualification criteria in the field of Computer Science and also filtered by false positives, which means, only articles with state-of-the-art in automotive applications were approved. The six articles resulting from the mapping were analyzed and discussed where it was possible to identify that a large part of the research is related to validation of middlewares and network traffic modeling mechanisms.

Keywords: Quality-of-Service. Automotive Ethernet. In-vehicle networking. Vehicle electronic architectures. Systematic mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – ECU's e seu meio físico de comunicação	15
Figura 2 – ECU's distribuídas em diferentes topologias de rede.....	16
Figura 3 – ECU's distribuídas em domínios de controle.....	18
Figura 4 – ECU's distribuídas em zonas	18
Figura 5 – Protocolos de Ethernet Automotiva em modelo OSI	20
Figura 6 – Fluxo de funcionamento do SOME/IP	21
Figura 7 – Fluxo de comunicação do SOME/IP.....	21
Figura 8 – Metodologia de pesquisa aplicada para busca e seleção de artigos.....	27
Figura 9 – Nuvem de palavras sobre os artigos analisados	29
Figura 10 – Middleware de QoS Dinâmico	31
Figura 11 – Middleware entre SOME/IP e aplicações em software.....	32
Figura 12 – Simulação com indicação das classes de tráfego de rede.....	33
Figura 13 – Testes de sincronismo externo com hardwares	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de inclusão e exclusão aplicados na seleção de artigos	26
Quadro 2 – Artigos aprovados e seus respectivos autores	27
Quadro 3 – Complemento de informações referente aos artigos aprovados	28
Quadro 4 – Palavras chave com base nos questionamentos.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações de QoS em AVB e TSN	23
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

CE	Critério de exclusão
CI	Critério de inclusão
DC	Domínio de controle
E	Estudo
SW	<i>Software</i>
SWC	<i>Software Component</i>

LISTA DE SIGLAS

ACM	<i>Association for Computing Machinery</i>
ADAS	<i>Advanced Driver-Assistance System</i>
AVB	<i>Audio Video Bridging</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CDT	<i>Control-Data Traffic</i>
ECU	<i>Electronics Control Unit</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
LIN	<i>Local Interconnect Network</i>
MOST	<i>Media Oriented Systems Transport</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
TSN	<i>Time Sensitive Networking</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
VNC	<i>Vehicular Networking Conference</i>

LISTA DE ACRÔNIMOS

AUTOSAR	<i>AUTomotive Open System ARchitecture</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
COTS	<i>Commercial of-the-shelf</i>
DATE	<i>Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition</i>
IECON	<i>Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society</i>
Infotainment	<i>Information and Entertainment</i>
LiDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
PHY	<i>Physical layer</i>
QoS	<i>Quality-of-Service</i>
SOME/IP	<i>Scalable service-Oriented MiddlewarE over IP</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2 REDES AUTOMOTIVAS E ARQUITETURAS ELETRÔNICAS VEICULARES ..	15
2.1 ETHERNET AUTOMOTIVA	17
2.1.1 Scalable service-Oriented MiddlewarE over IP (SOME/IP)	20
2.1.2 Audio Video Bridging (AVB) e Time Sensitive Networking (TSN).....	22
3 QUALITY-OF-SERVICE EM REDES AUTOMOTIVAS	24
3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA	24
3.1.1 Questionamentos da Pesquisa.....	24
3.1.2 Protocolo de Busca e Seleção	25
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A implementação da rede Ethernet Automotiva em novas arquiteturas eletrônicas veiculares, possibilita que aplicações com maior largura de banda e requisitos de tempo real críticos sejam suportados em sistemas embarcados veiculares. Diferente de Ethernet convencional já enraizada em escritórios e aplicações industriais, a Ethernet Automotiva utilizada apenas um par trançado de fios e não há a utilização do cabo RJ45, tornando-a assim, menos suscetível a ruídos e dentro da faixa delimitada para aplicações em veículos.

Para garantir o funcionamento adequado da arquitetura eletrônica moderna com rede Ethernet Automotiva, utiliza-se técnicas e métodos para garantir a qualidade dos serviços que trafegam na rede, que são os temas de interesse deste trabalho. Os chamados *Quality-of-Services*, são requisitos e soluções que influenciam no fluxo ou tráfego de dados, que deve ser recebido com especificada qualidade (MATHEUS; KÖNIGSEDER, 2021, p. 247).

Salienta-se que o foco deste trabalho não é estudar fundamentos de redes automotivas, sendo assim, apenas características como topologias em arquitetura eletrônicas veiculares, suas vantagens e desvantagens necessárias para entendimento de resultados a serem discutidos no desenvolvimento.

1.1 PROBLEMA

Como pontuado em 2015, pelo aluno Marcos Vinicius Zimmermann Otani, no trabalho de monografia intitulado “Redes Ethernet em Aplicações Veiculares: uma revisão do estado da arte das soluções da aplicação”, também do Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), na época em que muito se discutia a implementação de Ethernet em aplicações com o veículo em movimento, trabalhos futuros se faziam necessários para resolver problemas de priorização de tráfego de rede em tempo real.

Na época, Ethernet era utilizada apenas na aplicação de atualização de software das unidades eletrônicas com o veículo totalmente parado e também se previa, como primeira aplicação de Ethernet em veículos em movimento, apenas em sistemas de entretenimento e multimídia já que havia baixa preocupação com

relação à falhas pois o sistema estaria isolado das redes responsáveis pela segurança crítica do automóvel.

Na atualidade, Ethernet já está embarcada em funções com o veículo em movimento, mas o problema de tráfego de rede apontado ainda continua em constante estudo, delimitando assim, o foco deste trabalho em compreender quais são as demandas, problemas e soluções em constante estudo relacionadas a tecnologia de rede Ethernet Automotiva.

1.2 OBJETIVOS

Visto que atualmente, Ethernet Automotiva é um tipo de rede de comunicação automotiva embarcada em veículos já em circulação no mercado, faz-se necessário um estudo para melhor entendimento do que pode ser apontado na atualidade como objeto de estudo por pesquisadores para aperfeiçoamento da tecnologia, que apesar de ser muito antiga em ambientes de escritório e industrial, ainda é muito recente para aplicações do setor automotivo.

1.2.1 Objetivo Geral

A contribuição deste trabalho se baseia em seu principal objetivo, isto é, auxiliar os pesquisadores a encontrar estudos recentes e modernos relacionados a QoS aplicados em redes automotivas modernas, sendo assim, principalmente em Ethernet Automotiva.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja cumprido, os objetivos específicos abaixo são definidos, e posteriormente, transformados em perguntas aplicadas ao mapeamento sistemático realizado.

- Levantar as principais demandas e necessidades que justificam a implementação de serviços para garantir a qualidade das redes automotivas;
- Verificar se existem modelos, estratégias ou abordagens de *Quality-of-Service* já compatíveis com as redes mais modernas embarcadas em veículos;
- Caracterizar os métodos de implementação e validação mais utilizados em estudos relacionados a QoS em redes automotivas;

- Identificar lacunas e oportunidades de estudo sobre qualidade de serviços aplicados a redes embarcadas em veículos com arquitetura eletrônica moderna.

1.3 JUSTIFICATIVA

Como a tecnologia é muito nova no setor automotivo e ainda está em constante evolução em curto período de tempo, o mapeamento sistemático proposto serve como um guia para que o pesquisador esteja apto a identificar tópicos e necessidades em constante estudo em arquiteturas eletrônicas veiculares mais modernas, ou seja, arquiteturas que utilizam rede Ethernet Automotiva em aplicações de alta largura de banda e em requisitos de tempo real crítico.

Ao identificar demandas e problemas relacionados a nova tecnologia de rede aplicada na indústria automotiva, o pesquisador pode contribuir com o avanço das soluções na área, afim de tornar a tecnologia cada vez mais apta e segura, principalmente pensando no futuro onde a tecnologia em questão, tem grande importância no desenvolvimento tecnológico para veículos autônomos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

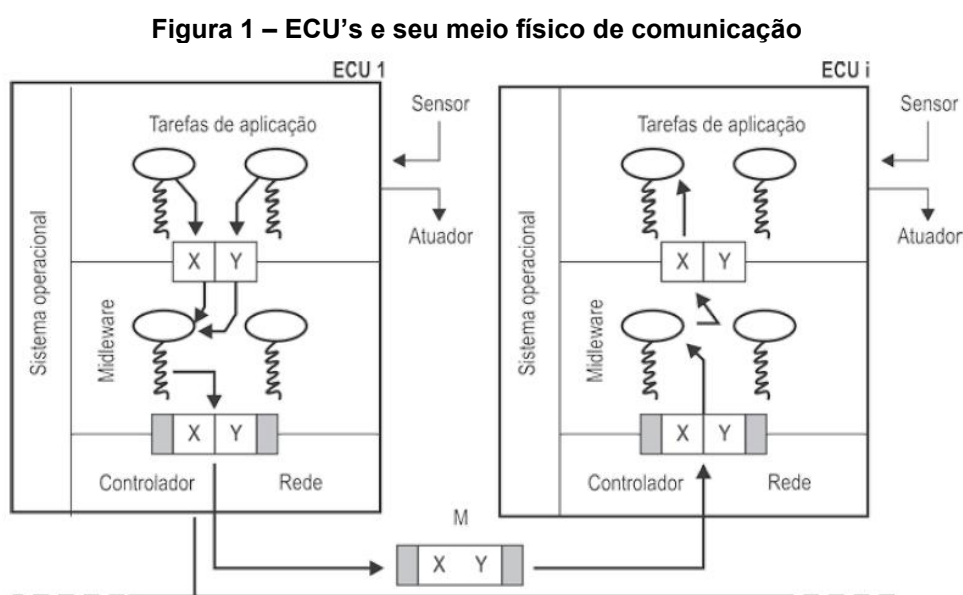
Esta monografia de especialização está dividida em quatro seções. Nesta primeira seção foi introduzida rede Ethernet Automotiva e QoS como os temas do trabalho e também especificados em detalhes, o objetivo geral e específicos do trabalho, assim como sua justificativa e a estrutura geral do trabalho.

Na segunda seção, uma breve revisão da literatura é apresentada para que o entendimento dos resultados obtidos pela próxima seção seja possível. Na terceira seção aplica-se o mapeamento sistemático desde a metodologia de busca aplicada, filtros utilizados para a seleção de trabalhos internacionalmente relevantes na área, até a discussão dos resultados encontrados.

Por último, na seção “Conclusão”, será comentado como o mapeamento aplicado contribuiu com o objetivo principal da pesquisa, assim como pontuar os novos questionamentos oriundos da pesquisa e por fim, trabalhos futuros são sugeridos para que os novos questionamentos possam ser sanados.

2 REDES AUTOMOTIVAS E ARQUITETURAS ELETRÔNICAS VEICULARES

Um veículo é composto por várias Unidades Eletrônicas de Controle, chamadas de ECU's, do inglês *Electronic Control Unit*. Conforme Santos (2010, p.15), para que ocorra o gerenciamento das diversas funções existentes em um veículo, se faz necessário um sistema embarcado distribuído composto por várias ECU's interligadas por meios físicos ou canais de comunicação, assim haverá interface de informações entre as mesmas, como mostra a Figura 1.



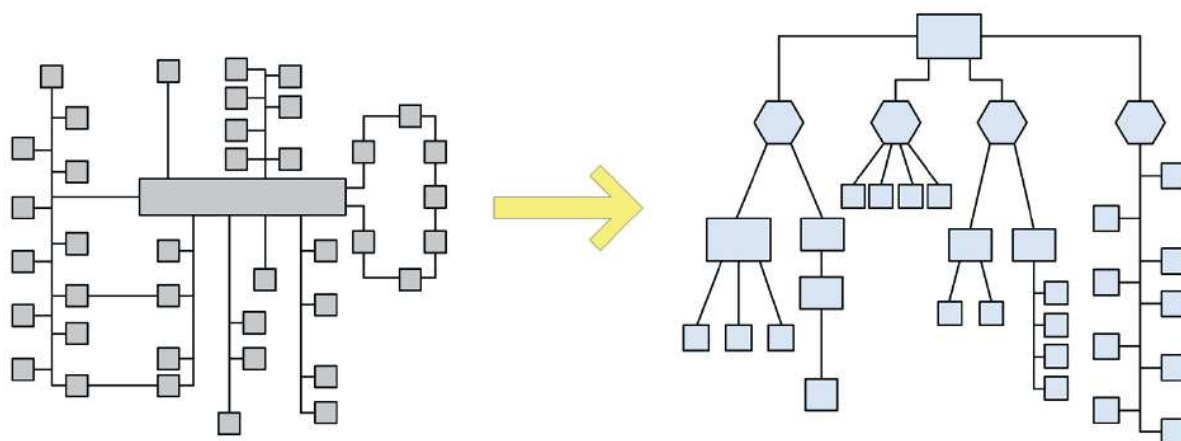
Fonte: Santos (2010, p.16).

Os meios físicos utilizados para transmissão de sinais entre as ECU's são chamados de redes automotivas por possuírem padronizados canais de comunicação codificados. Zeng *et al.* (2016, p. 1552) aponta, como motivações para padronização da comunicação entre as unidades de controle eletrônicas distribuídas no veículo, a redução na quantidade de cabeamento o que consequentemente reduz custos, espaço e peso do próprio veículo, além de fazer com que a comunicação de dados seja mais robusta e menos suscetível a ruídos eletromagnéticos já que um veículo da atualidade pode conter mais de 70 ECU's.

As ECU's podem ser distribuídas de inúmeras formas dentro de um veículo, porém as topologias de rede mais utilizadas são em barramento, anel e/ou em árvore como pode-se visualizar na Figura 2. Em ambas as arquiteturas, é possível verificar a existência de uma ECU central efetuando a interface entre as diversas

redes embarcadas no veículo, sendo esta complexa característica atribuída a função de gateway (HANK; SUERMANN; MÜLLER, 2012, p.80).

Figura 2 – ECU's distribuídas em diferentes topologias de rede



Fonte: Hank, Suermann e Müller (2012, p. 80).

A arquitetura da esquerda, segundo a análise de Tuohy *et al.* (2015, p.538), apresenta uma topologia mais antiga onde as unidades eletrônicas estão distribuídas de forma heterogênea e complexa, isto é, há uma significativa variedade de diferentes redes entre as ECU's, resultando em combinações inflexíveis de difícil manutenção dos protocolos e tecnologias envolvidos.

Já a arquitetura eletrônica veicular da direita apresenta uma topologia moderna e organizada em árvore tornando-a flexível e de fácil manutenção. Hank, Suermann e Müller (2021, p. 80) explicam que a arquitetura é separada em domínios de controle (DC) onde cada ECU dominadora de controle é responsável por gerenciar seu subsistema e efetuar a comunicação com a gateway central. Nesta arquitetura existe um *backbone*, isto é, uma rede principal entre a gateway central e suas ECU's controladoras de domínio, sendo estes domínios separados por tipos funções do veículo, que conforme seus requisitos de aplicações consequentemente demandam de uma rede automotiva específica por domínio, homogeneizando assim os subsistemas.

Cada rede de comunicação automotiva tem suas características específicas e atendem diferentes tipos de aplicações já que as funções de cada tipo de aplicação possuem requisitos ou demandas específicas (SANTOS, 2010, p. 15). Segundo Zeng *et al.* (2016, p. 1552), cada tipo de rede embarcada em automóveis possui vantagens competitivas sobre outros tipos de redes que estão embarcadas no

mesmo veículo, porém também possuem deficiências que impedem que um tipo de rede supere o outro tipo, justificando assim, a necessidade de quatro a cinco principais redes automotivas em sistemas de comunicação veiculares modernos: CAN (*Controller Area Network*), LIN (*Local Interconnection Network*), FlexRay, MOST (*Media Oriented Systems Transport*) e Ethernet Automotiva.

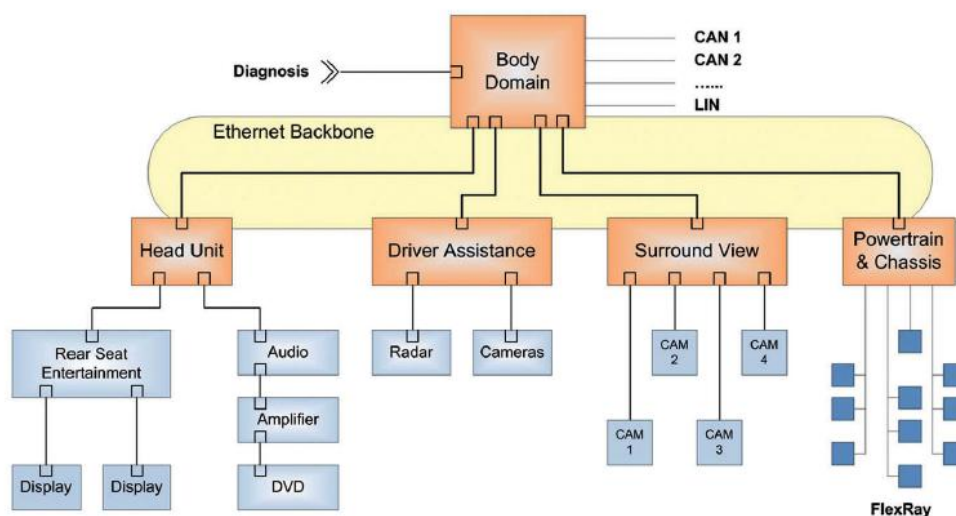
É interessante observar também, que a arquitetura apresentada no lado direito da Figura 2, isto é, a arquitetura mais recente reorganizada em árvore não possui mais a topologia em anel. A rede MOST como previsto, tornou-se obsoleta sendo sua aplicação em multimídia substituída por Ethernet Automotiva. A seguir mais detalhes da topologia em árvore serão apresentadas na próxima seção.

2.1 ETHERNET AUTOMOTIVA

Na atualidade, Ethernet Automotiva é a rede veicular que suporta muitos dos requisitos não atendidos por outras redes mais antigas como CAN, LIN, FlexRay ou MOST. Aplicações como ADAS (Sistemas Avançados de Assistência ao Motorista, do inglês *Advanced-Driver Assistance Systems*) e *Infotainment* (sub sistema de informação e entretenimento, do inglês *Information and entertainment*) possuem cada vez mais requisitos de largura de banda e requisitos críticos de tempo real.

A Figura 3 demonstra como os domínios de controle podem e são divididos entre as aplicações sendo a Head Unit, a ECU dominadora de controle (DC) do subsistema de multimídia (também chamado de *Infotainment*), a segunda ECU DC responsável pelas funções de ADAS e a terceira ECU DC responsável pela função *Surround View* (sem tradução ao português, a tecnologia possui câmeras posicionadas nos quatro cantos do veículo para capturar e renderizar uma visualização que apresenta tudo que acontece ao seu redor). As redes abaixo destas ECU's DC são compostas também por Ethernet, com exceção para os subsistemas como *Powertrain/Chassis* onde a principal rede utilizada no subsistema é a FlexRay e para as funções de carroceria e conforto (*Body/Confort*) são utilizadas as redes CAN e LIN conectadas diretamente na ECU (gateway) central.

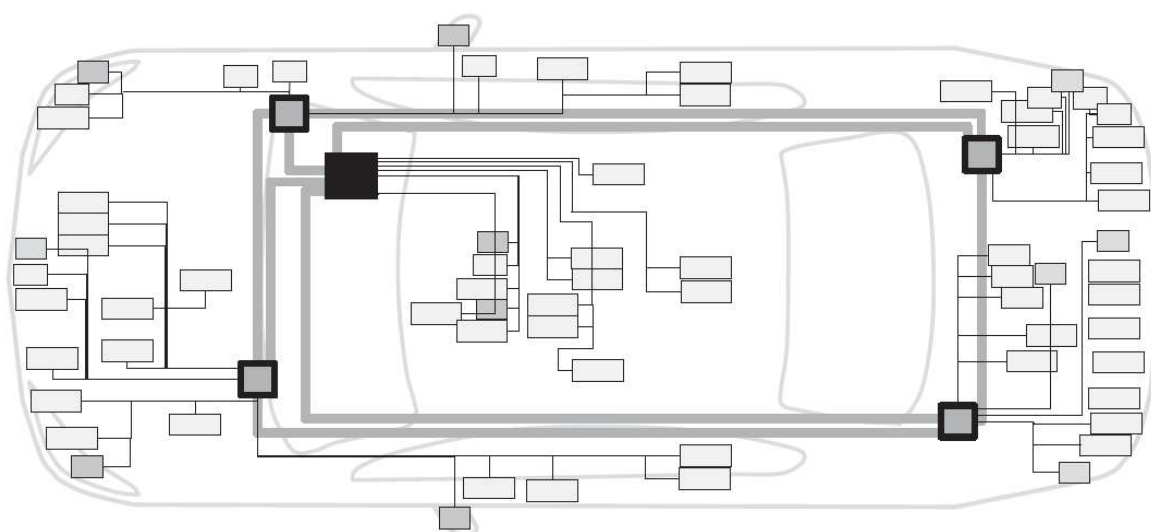
Figura 3 – ECU's distribuídas em domínios de controle



Fonte: Hank, Suermann e Müller (2012, p. 84).

Com todo o avanço e evolução dos protocolos que compõem Ethernet Automotiva, Matheus e Königseder (2021, p. 333) apresentam o novo modelo de arquitetura eletrônica veicular demonstrado na Figura 4 onde as unidades eletrônicas estarão distribuídas em zonas dentro do veículo, isto é, diferente dos modelos atuais de arquiteturas modernas, que possuíam a gateway central e as unidades controladoras de domínio por aplicação (*Powertrain, Chassis/Safety, Confort, Infotainment* e ADAS).

Figura 4 – ECU's distribuídas em zonas



Fonte: Matheus e Königseder (2021, p. 333).

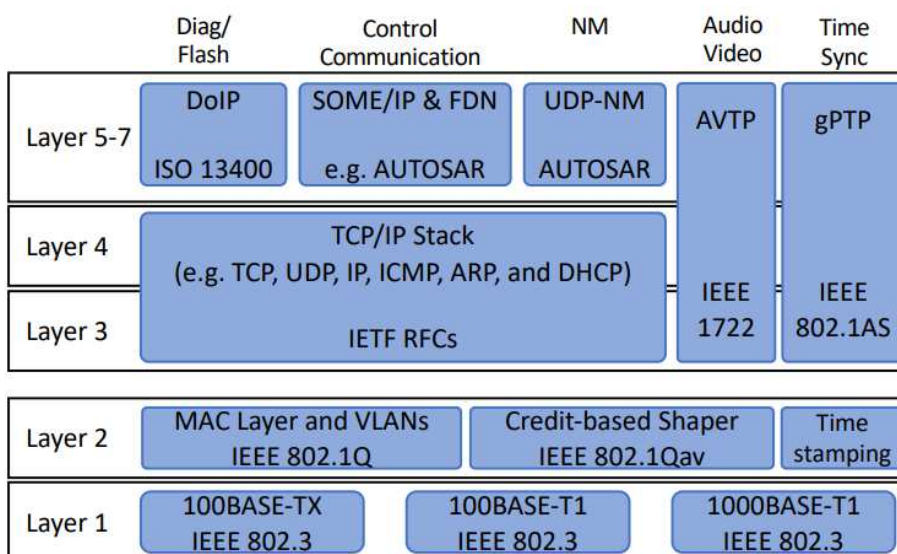
Utilizando ADAS como exemplo, sabendo que o carro possui sensores em toda a parte do carro (câmeras, radares e sensores LiDAR's, da sigla inglesa *Light*

Detection And Ranging), na arquitetura atual muitas vezes o cabo pode ter um tamanho considerável já que todos os sensores estariam ligados fisicamente na mesma ECU responsável por efetuar a fusão dos sensores. Com a nova arquitetura separada em zonas, o sensor é conectado numa das 4 ECU's *Head Zones*, no caso a que estiver mais próxima. As super ECU's (na arquitetura anterior chamadas de dominadoras de controle) que lideram as zonas estão conectadas entre si via *backbone* Ethernet e também efetuam a comunicação com o gateway principal (antigo gateway centralizado).

Para garantir a qualidade desta comunicação, utiliza-se métodos e padronizações de *Quality-of-Service* (QoS). Os diferentes mecanismos de QoS disponíveis em TSN (*Time-Sensitive Networking*) permitem que vários tipos de dados, incluindo aplicações AVB (*Audio Video Bridging*) em conjunto com aplicações (de segurança) críticas de tempo real compartilhem o mesmo par trançado de cabos sem perder qualidade, sendo este justamente o objetivo principal da arquitetura: reduzir o número de cabos entre as ECU's. Os PHY's possuem diferentes velocidades para fornecer a taxa de dados necessária e ainda, junto com a arquitetura em zona, o suporte de arquiteturas orientadas a serviços possibilita um carro definido por software, isto é, separa o software do hardware no desenvolvimento (MATHEUS; KÖNIGSEDER, 2021, p. 333).

A rede Ethernet Automotiva tem seus diversos protocolos demonstrados na Figura 5. É importante observar que SOME/IP, do inglês *Scalable service-Oriented MiddlewarE over IP*, ou seja, um middleware orientado a serviços para comunicação IP que está implementado nas camadas 5 a 7 com referência no modelo de Interconexão de Sistemas Abertos (OSI, do inglês *Open System Interconnection*). Este é utilizado para efetuar a troca de dados entre os protocolos de transporte (camada 4) com as camadas de aplicação (de 5 a 7). O middleware é responsável por organizar o transporte de dados (mensagens) e moderar as chamadas de funções entre os componentes de software.

Figura 5 – Protocolos de Ethernet Automotiva em modelo OSI



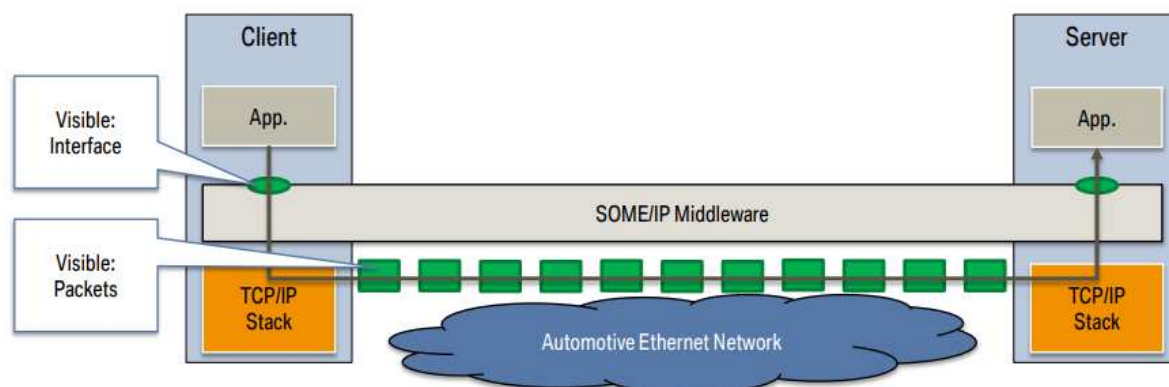
Fonte: Königseder e Völker (2020, p.3).

Então em Ethernet Automotiva tem-se o middleware SOME/IP em camadas de aplicação (de 5 a 7) que faz interface com as camadas 3 e 4, têm-se as técnicas de *Credit-based Shaper* aplicadas em camada 2, e os meios físicos PHY's (*Physical Layers*) utilizados em camada 1. O sistema mais baixo na camada OSI representa o meio físico por onde o dado é transmitido de um ponto a outro na rede, e é denominado sistema PHY. Os PHY's utilizados na indústria automotiva hoje são 100BASE-T1 (100Mbps) e 1000BASE-T1 (1Gbps). A nomenclatura dos sistemas PHY é denominada por sua largura de banda e pelo meio físico ao final sendo T1 equivalente a um par trançado de cabos sem blindagem, isto é, diferente de um PHY de escritório que possui 4 pares de fios trançados e conector RJ45 (MATHEUS; KÖNIGSEDER, 2021, p. 134).

2.1.1 Scalable service-Oriented MiddlewarE over IP (SOME/IP)

O middleware automotivo SOME/IP, do inglês *Scalable service-Oriented MiddlewarE over IP*, foi desenvolvido pelo Dr. Lars Völker com o objetivo de tornar, qualquer device de diferentes tamanhos ou sistemas operacionais, perfeitamente compatíveis com os protocolos de transporte da pilha TCP/IP (VÖLKER, 2021).

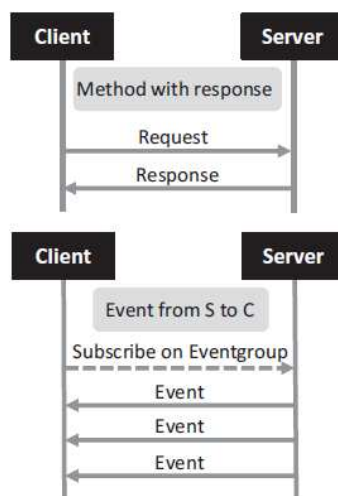
Figura 6 – Fluxo de funcionamento do SOME/IP



Fonte: Völker (2013, p.8).

Novamente a Figura 6 demonstra o funcionamento do middleware que trabalha no formato cliente-servidor e a Figura 7 mostra o princípio de comunicação executado. Ambas as figuras mostram que com SOME/IP, a troca de informações entre as ECU's torna-se orientada a serviço, onde a ECU cliente só receberá informações por meio de notificações da ECU servidor, se estiver inscrita no grupo ou serviço, justificando assim a orientação a serviço. A aplicação envia a informação no formato especificado pelo middleware, que por sua vez efetua a conversão no formato de frames Ethernet para que possa ser enviado ao outro ponto da rede que recebe frame de dados e efetua a decodificação para que possa ser usado pelo software de aplicação.

Figura 7 – Fluxo de comunicação do SOME/IP



Fonte: Adaptado de Matheus e Königseder (2021, p. 289).

Na conversão dos dados da aplicação de software para quadros ethernet, a serialização dos dados é efetuada. Além de suportar formatos de dados simples

como *boolean*, *uint8*, *uint16*, *uint32*, *uint64*, *sint8*, *sint16*, *sint32*, *sint64*, *float32* e *float64*; também suporta tipos de dados complexos como *struct*, *string*, *array*, *enumeration*, *bitfield* e *union* (VÖLKER, 2021).

As aplicações suportadas por SOME/IP são diversas, incluindo pequenas aplicações como câmeras, unidades desenvolvidas em AUTOSAR clássico até aplicações mais complexas como *head units* e/ou unidades telemáticas.

2.1.2 Audio Video Bridging (AVB) e Time Sensitive Networking (TSN)

Conforme Correa *et al.*, (2014, p. 122), as técnicas a seguir podem ser usadas para oferecer a qualidade de serviço:

- *Bandwidth Reservation*: a habilidade de reservar parte da largura de banda na rede por um curto período de tempo, para que duas ECU's possam utilizar esta largura de banda reservada em alguma operação particular entre elas;
- *Synchronization*: protocolos especiais que efetuam a garantia de que a rede está rodando de forma sincronizada;
- *Latency Management*: função que limita o valor de latência entre dois elementos da rede para um valor conhecido;
- *Traffic Priorization*: função utilizada para etiquetar os pacotes mais importantes da rede;
- *Traffic Shapping*: *buffers* e limitadores que restringem o tráfego de mensagens na rede dentro de um valor máximo pré-determinado;
- *Network Congestion Avoidance*: função de QoS que monitora conexões particulares da rede, redirecionando os pacotes quando a rede começa a congestionar.

O uso de AVB (*Audio Video Bridging*) como QoS em aplicações automotivas então pode ser definido como um grupo de serviços padronizados, utilizando as técnicas mencionadas acima, que garantem a transferência de dados multimídia como áudio e vídeo entre as unidades eletrônicas que fazem parte do sistema de *Infotainment* veicular (grupo selecionado de ECU's). TSN (*Time Sensitive Networking*) por sua vez, é uma evolução de AVB, porém com o foco em especificar padrões de QoS mais rígidos para dados de controle de segurança crítica (*safety critical control data*), principalmente com o avanço das funções de ADAS e

prospectando um futuro veículo autônomo (MATHEUS; KÖNIGSEDER, 2021, p. 254 e p. 266). Na Tabela 1 tem-se algumas especificações de QoS em AVB marcadas com a cor azul e TSN marcadas com a cor verde.

Tabela 1 – Especificações de QoS em AVB e TSN

Transport	Time sync	Stream reservation	QoS/latency	Safety (seamless Redundancy)	Ingress Policing
1722-2011	802.1AS-2011	802.1Qat-2010	802.1Qav-2009		
1722-2016	802.1AS-2020	802.1Qcc-2018	802.1Qbv-2015	802.1Qca-2015	802.1Qci-2017
			802.1Qbu & 802.3br - 2016	802.1CB-2017	
			802.1Qch-2017	802.1AS-2020	
			802.1Qcr-2020 (ext)		

Fonte: Adaptado de Matheus e Königseder (2021, p. 267).

Destaca-se que os *shappers* (modeladores de tráfego de rede), utilizados em AVB (IEEE 802.1Qav) são implementados em camada 2 (modelo OSI) de rede Ethernet, como mostra a Figura 5. TSN (*Time Sensitive Networking*) tem um repleto número de especificações para garantir a qualidade do serviço através de mecanismos modeladores de tráfego de rede como mostra a Tabela 1.

3 QUALITY-OF-SERVICE EM REDES AUTOMOTIVAS

Na busca por métodos, técnicas e até mesmo abordagens de *Quality-of-Service* aplicados em redes de comunicação automotiva, efetuou-se um mapeamento sistemático com o objetivo de encontrar pesquisas recentes e modernas sobre o tema em estudo, principalmente no que se refere a QoS para redes Ethernet Automotiva.

O mapeamento sistemático busca as melhores publicações na área da Ciência da Computação e efetua uma breve análise do seu estado-da-arte afim de encontrar correlações com as principais demandas ou necessidades em arquiteturas eletrônicas veiculares da atualidade.

3.1 Metodologia de pesquisa

A metodologia utilizada no mapeamento é uma adaptação do método utilizado por Petersen *et al.* (2008) que define e aplica um mapeamento sistemático para estudos em Engenharia de Software.

Primeiramente define-se as questões a se responder com este mapeamento, convertendo os objetivos específicos da primeira seção deste trabalho em questionamentos, na sequência define-se o protocolo de busca e os critérios de seleção dos trabalhos. Após a seleção dos artigos, aplica-se uma avaliação da qualidade das publicações afim de se obter apenas os melhores artigos da área para que a extração de dados e análise posterior seja executada.

3.1.1 Questionamentos da Pesquisa

Para que seja possível entender como e por quais razões as estratégias de QoS são aplicadas em redes automotivas da atualidade, e também nas mais modernas, definem-se as perguntas a seguir:

- Q1: Quais são as principais demandas e necessidades que justificam a implementação de serviços que garantam a qualidade das redes automotivas?
- Q2: Existem modelos, estratégias ou abordagens de *Quality-of-Service* já compatíveis com as redes mais modernas embarcadas em veículos?

- Q3: Quais são os métodos de implementação e de validação mais utilizados em estudos propostos relacionados a QoS em redes automotivas?
- Q4: Quais são as lacunas e as oportunidades de estudo relacionados a qualidade dos serviços aplicado a redes embarcadas em veículos com arquiteturas modernas?

3.1.2 Protocolo de Busca e Seleção

Com os questionamentos da pesquisa já definidos, a próxima etapa da metodologia consiste em definir o protocolo de busca por trabalhos. Para que a busca seja feita nas bases e repositórios de dados, definiu-se o conjunto de palavras chave a seguir:

(“Quality of Service” OR “Quality-of-Service” OR “QoS”)

AND

(“Automotive Ethernet” OR (“Automotive” AND “Ethernet”))

A palavra relacionada à QoS é repetida em três formas diferentes para garantir que a busca não deixe de selecionar nenhuma publicação importante por um simples detalhe de formatação. Já o segundo conjunto de palavras foi escolhido pelo autor com base em conhecimento prévio de que a rede Ethernet Automotiva está presente nas arquiteturas eletrônicas veiculares mais modernas da atualidade, e também, tende a ser a mais utilizada em arquiteturas do futuro.

Apesar do conhecimento prévio também, de que a rede CAN historicamente e atualmente ainda é a rede mais utilizada nos veículos (mesmo com suas limitações de largura de banda), nenhuma palavra relacionada a este tipo de comunicação foi utilizada, pois em resultados empíricos notou-se uma dispersão muito grande do foco deste mapeamento sistemático já que a busca resultou numa quantidade de dados discrepante.

A pesquisa foi realizada nas bases e repositórios IEEE Explore, ACM, Scopus e Springer. A busca foi executada para trabalhos publicados a partir do ano 2015 e em publicações de idioma inglês. Um filtro adicional para artigos gratuitos também foi adicionado na base de dados Springer, já que mesmo com o acesso acadêmico, muitos dos conteúdos permaneceram bloqueados. A busca retornou um total de 251 trabalhos disponíveis, sendo 106 resultados da base Scopus, 59 resultados do repositório Springer, 56 resultados da base ACM e 30 resultados da IEEE Explore.

Na sequência aplicou-se, em todos os 251 trabalhos publicados, os critérios de inclusão e exclusão indicados no Quadro 1 como CI e CE respectivamente, filtrando os resultados para um total de 20 artigos. Para garantir a qualidade e confiabilidade das pesquisas encontrados, aplicou-se ainda uma seleção por critério de qualidade *Qualis/CAPES* onde apenas artigos publicados em conferências e periódicos com conceito A1, A2 e B1 na área da Ciência da Computação foram aprovados, resultando num total de 8 artigos qualificados para análise.

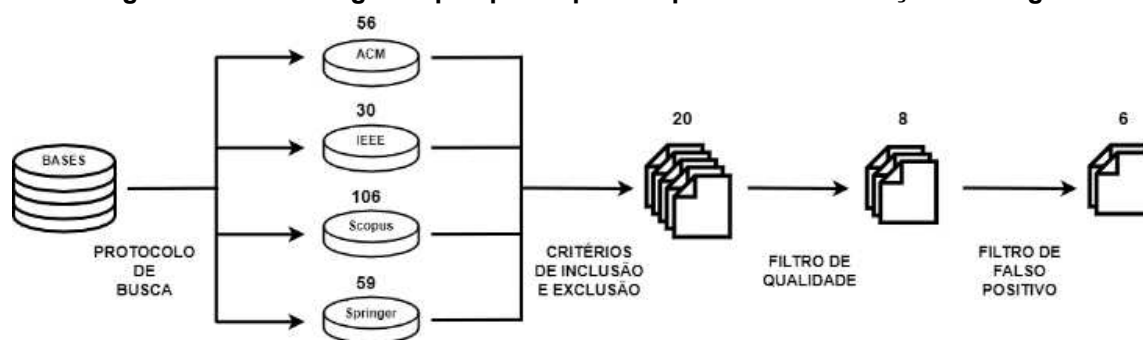
Quadro 1 – Critérios de inclusão e exclusão aplicados na seleção de artigos

Critérios de inclusão e exclusão	Descrição
CI-1	Métodos, técnicas, estratégias e/ou abordagens de QoS para redes automotivas
CI-2	Comparação de QoS em Ethernet Automotiva com outras redes automotivas
CE-1	QoS em aplicações de redes não embarcadas em veículos (industriais, escritórios, sem-fio, entre outras)
CE-2	Métodos ou abordagens de QoS com Aprendizagem de Máquina e/ou para Cyber Segurança
CE-3	Palavras chave do mapeamento não encontradas no título, resumo e/ou palavras-chave do artigo
CE-4	Livros, teses e dissertações

Fonte: Autoria própria.

Durante a leitura dos artigos selecionados, dois ainda foram removidos por filtro de falso positivos, isto é, não condizem com o foco deste mapeamento sistemático. Os artigos removidos em questão, haviam sido aprovados por atenderem todos os requisitos especificados na metodologia, isto é, possuem as palavras chave requisitadas (no título e no resumo), porém as palavras chave foram utilizadas até a introdução, sendo a sequência do experimento não focado em aplicações do ramo automotivo. O modelo completo aplicado na seleção dos artigos pode ser visualizado etapa por etapa na Figura 8.

Figura 8 – Metodologia de pesquisa aplicada para busca e seleção de artigos



Fonte: Autoria própria.

Após a exclusão por falso positivo, 6 artigos restantes foram encaminhados para a extração de dados. As informações extraídas foram: título, autores, ano de publicação, base de dados e congresso ou periódico onde foram aplicados, qualidade conforme CAPES (*Qualis*). Os estudos aprovados e seus respectivos autores estão apresentados no Quadro 2. O Quadro 3 apresenta uma continuação com o restante das informações.

Quadro 2 – Artigos aprovados e seus respectivos autores

Nº	Descrição	Autores
E1	<i>Analysis of Ethernet-Switch Traffic Shapers for In-Vehicle Networking Applications</i>	Sivakumar Thangamuthu, Nicola Concer, Pieter J.L.Cuijpers e Johan J.Lukkien
E2	<i>Formal Worst-Case Timing Analysis of Ethernet TSN's Burst-Limiting Shaper</i>	Daniel Thiele e Rolf Ernst
E3	<i>FlexRay and Ethernet AVB Synchronization for High QoS Automotive Gateway</i>	Young Seo Lee, Jin Ho Kim e Jae Wook Jeon
E4	<i>Formal Worst-Case Timing Analysis of Ethernet TSN's Time-Aware and Peristaltic Shapers</i>	Daniel Thiele, Rolf Ernst e Jonas Diemer
E5	<i>A QoS Aware Approach to Service-Oriented Communication in Future Automotive Networks</i>	Mehmet Çakır, Timo Häckel, Sandra Reider, Philipp Meyer, Franz Korf e Thomas C. Schmidt
E6	<i>Towards QoS-Aware Service-Oriented Communication in E/E Automotive Architectures</i>	Matthias Becker, Zhonghai Lu e De-Jiu Chen

Fonte: Autoria própria.

Quadro 3 – Complemento de informações referente aos artigos aprovados

Nº	Qualis	Conferência ou Periódico	Ano	Base
E1	A1	DATE - <i>Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition</i>	2015	ACM
E2	A1	DATE - <i>Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition</i>	2016	IEEE
E3	A1	<i>IEEE Transactions on Vehicular Technology</i>	2017	IEEE
E4	A2	VNC - <i>IEEE Vehicular Networking Conference</i>	2015	IEEE
E5	A2	VNC - <i>IEEE Vehicular Networking Conference</i>	2019	IEEE
E6	B1	IECON - <i>Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society</i>	2018	IEEE

Fonte: Autoria própria.

Após a extração de dados, a leitura dos seis artigos do Quadro 2, pôde-se obter palavras chave com base no preenchimento do Quadro 4, que foram de grande valia para responder os questionamentos da pesquisa já apresentados na seção anterior.

Quadro 4 – Palavras chave com base nos questionamentos

Nº	Q1: Justificativa	Q2: Estratégias	Q3: Experimentos	Q4: Oportunidades
E1	Latência, Tempo Real	<i>Shappers</i>	Simulação	Sincronização
E2	Latência, Tempo Real	<i>Shappers</i>	Simulação, OEM	-
E3	<i>Clock drift</i>	Sincronismo Externo	Hardware	Expandir
E4	Latência, Tempo Real	<i>Shappers</i>	Simulação, OEM	Sincronização
E5	QoS Dinâmico, SOA em Tempo Real	Middleware, SOME/IP	Simulação	Arquitetura em Zonas
E6	COTS, Desenvolvimento SW	Middleware, SOME/IP, SWC	Hardware	Expandir

Fonte: Autoria própria.

Com as palavras preenchidas do Quadro 4, ainda foi possível gerar uma nuvem de palavras, apresentada na Figura 9, para contribuir nas discussões dos questionamentos.

Figura 9 – Nuvem de palavras sobre os artigos analisados



Fonte: Autoria própria.

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, respondem-se os questionamentos da pesquisa com base em discussões sobre resultados encontrados com a leitura dos artigos aprovados pela metodologia do mapeamento sistemático. Destacar-se-á cada questionamento e em seguida, serão apontadas as informações e características relacionadas a cada artigo que agregam valor a resposta do questionamento destacado. Os artigos estarão referenciados nesta seção, conforme a numeração do Quadro 2.

Q1: Quais são as principais demandas e necessidades que justificam a implementação de serviços que garantam a qualidade das redes automotivas?

Os autores dos estudos E1, E2 e E4 justificam o uso de métodos de QoS para transportar frames com baixa latência, principalmente em aplicações onde têm-se *safety-critical real-time systems* (sistemas de segurança críticos de tempo real). Este tipo de aplicação exige um rígido controle dos sistemas efetuado em tempo real, muito utilizado pelas funções de ADAS, do inglês *Advanced Driver-Assistance Systems*.

Já os autores do terceiro estudo (E3) apontam que em redes heterogêneas, isto é, onde têm-se mais de um tipo de rede trabalhando com a mesma informação a ser transmitida ou recebida, há um problema de sincronismo pois as redes de

diferentes tipos possuem fontes de *clock* diferentes, tal problema foi nominado desvio de *clock*, em inglês *clock drift*.

No E5 é apontado que as arquiteturas eletrônicas estarão cada vez mais orientadas a serviço, efetuando uma interessante comparação de SOME/IP com AUTOSAR, e efetua uma crítica do fato de ainda não existir um gerenciamento dinâmico de todos serviços que compartilham o mesmo link de dados, afim de dinamicamente modelar o tráfego de rede.

Já o sexto estudo (E6) aponta uma problemática também relacionada com AUTOSAR e orientação a serviços, neste caso apontando a possibilidade da utilização de COTS, do inglês *Commercial of-the-shelf*, para acelerar o desenvolvimento de software na indústria automotiva. Basicamente são produtos ou pacotes de software já prontos e preparados para implementação direta na aplicação em desenvolvimento. O argumento é a falta de garantia de qualidade em COTS para softwares da indústria automotiva, sendo que os mesmos já são utilizados para outros tipos de mercado.

Q2: Existem modelos, estratégias ou abordagens de *Quality-of-Service* já compatíveis com as redes mais modernas embarcadas em veículos?

Os estudos E1, E2, e E4 são muito similares e como já comentado na resposta da primeira questão, têm a mesma justificativa. Consequentemente, apresentam também o mesmo tipo método de QoS. TSN (*Time Sensitive Network*) são conjuntos de padronizações para rede Ethernet com o objetivo de efetuar o gerenciamento dos requisitos especificando novos mecanismos de QoS chamados de *shappers*, estes por sua vez, são modeladores de tráfego de rede atuando em camada 2 do modelo OSI. Os *shappers* utilizados para simulação em sua situação de pior caso nas pesquisas em questão, ainda estavam em processo de validação em 2015 e 2016, onde apenas o rascunho da padronização havia sido publicado. Posteriormente em 2017, as especificações dos *shappers* apresentados foram publicados.

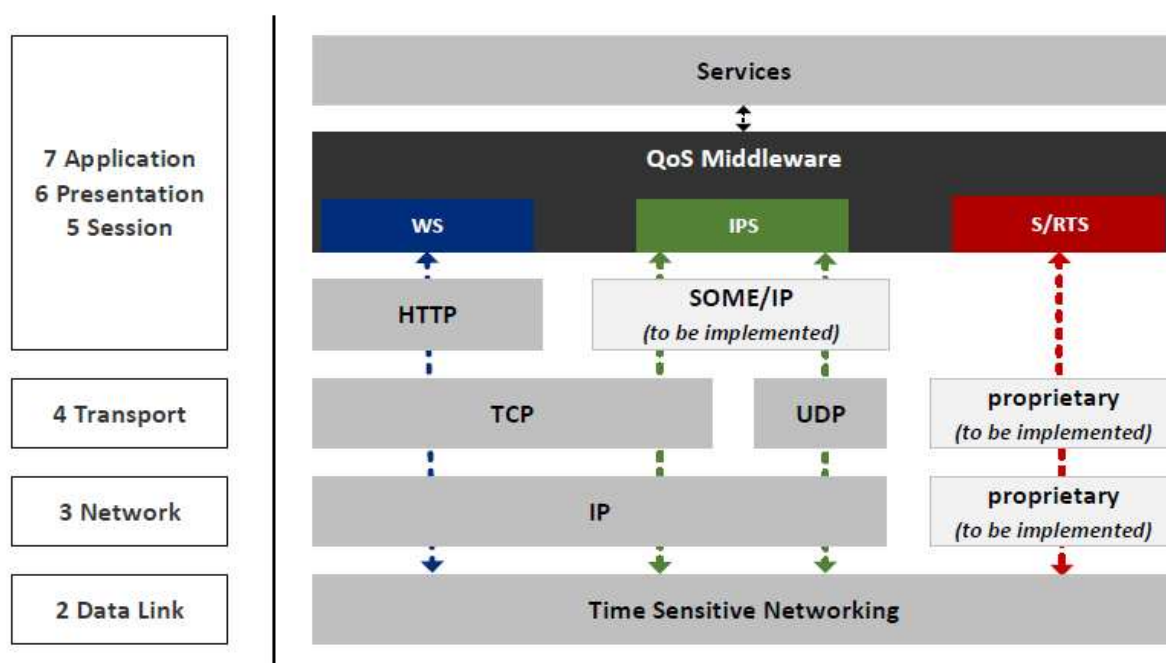
Os outros três artigos apresentam e propõem novas abordagens. Os autores do estudo 3 (E3) propõem um mecanismo de sincronismo proprietário para eliminar o problema de *clock drift* entre a rede Ethernet e a rede FlexRay, sendo este mecanismo também atuante nas camadas de comunicação.

Já os dois artigos restantes (E5 e E6) correlacionam suas novas abordagens para solução de diferentes problemas, com o protocolo SOME/IP. Como já visto

anteriormente, o middleware em questão faz a interface entre os protocolos de comunicação com os componentes de software, todos atuantes em redes Ethernet.

O quinto artigo (E5) propõe um middleware com base em SOME/IP para efetuar negociações de QoS durante o tráfego de rede, isto é, um QoS dinâmico que possa atender todos os requisitos de tráfego de rede Ethernet do veículo, já considerando-o todo orientado a serviço. O middleware em questão faria a interface com todos os outros protocolos de aplicação (camada 5 e superiores) existentes na rede como mostra a Figura 10, sendo esta apenas uma abordagem proposta, isto é, ainda não há compatibilidade com nenhum dos protocolos automotivos.

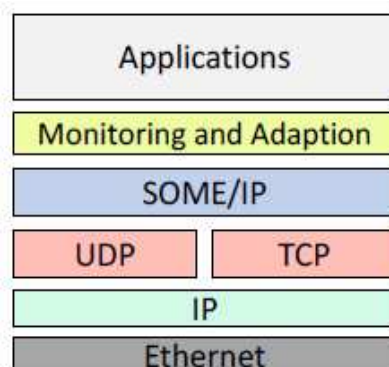
Figura 10 – Middleware de QoS Dinâmico



Fonte: Çakır *et al.* (2019, p. 5).

Já a problemática de COTS é solucionada pelos autores do estudo 6 (E6) apenas como um middleware que atua efetuando a interface de SOME/IP com os componentes de software (SWC, do inglês *Software Components*) das camadas de aplicações, isto é, é efetuado uma cascata de middlewares indicado em amarelo na Figura 11. Porém não há compatibilidade com qualquer outro protocolo de aplicação ou comunicação automotivo, apenas com SOME/IP.

Figura 11 – Middleware entre SOME/IP e aplicações em software



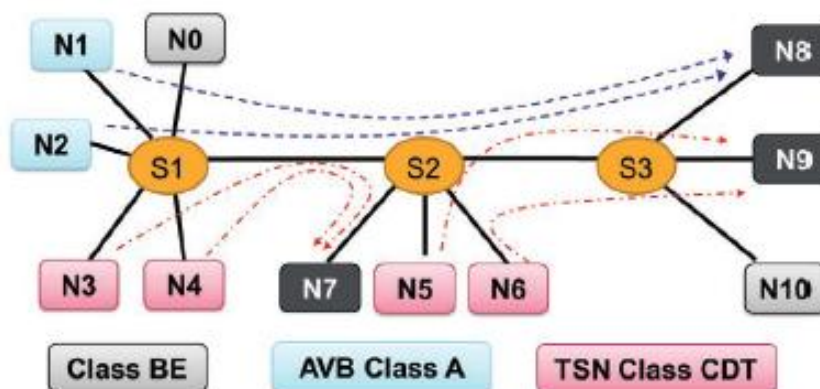
Fonte: Adaptado de Becker, Lu e Chen (2018, p. 4098).

Q3: Quais são os métodos de implementação e de validação mais utilizados em estudos propostos relacionados a QoS em redes automotivas?

Observando o Quadro 4, nota-se que simulação de redes foi o método de validação de pesquisa mais utilizado. Iniciando a análise com este método, observa-se que todos os artigos que avaliaram os *shappers* do padrão TSN, utilizaram métodos de simulação. Os trabalhos de pesquisa E2 e E4 implementaram os requisitos de pior caso conforme especificação da montadora Daimler AG, separando o tráfego de rede em três diferentes classes, e efetuando a simulação em uma topologia de rede baseada em switch, similar as arquiteturas eletrônicas veiculares da atualidade. Já o primeiro trabalho (E1) efetuou a simulação com seus próprios requisitos. Nenhum dos artigos que pesquisaram *shappers* informaram de forma explícita a ferramenta utilizada para a execução da simulação.

A Figura 12 mostra um exemplo de simulação utilizada no estudo E1 demonstrando a topologia de rede Ethernet com três switches (S1, S2 e S3) e onze ECU's distribuídas (N0 até N10), onde também são visualizadas as classes de tráfego sendo a mais crítica CDT (TSN) denominada em inglês *Control-Data Traffic* com tradução, Controle de Tráfego de Dados, seguida da classe A (AVB) para aplicações em áudio e vídeo, e na sequência a classe BE com o restante das aplicações IP e com requisitos mais flexíveis.

Figura 12 – Simulação com indicação das classes de tráfego de rede



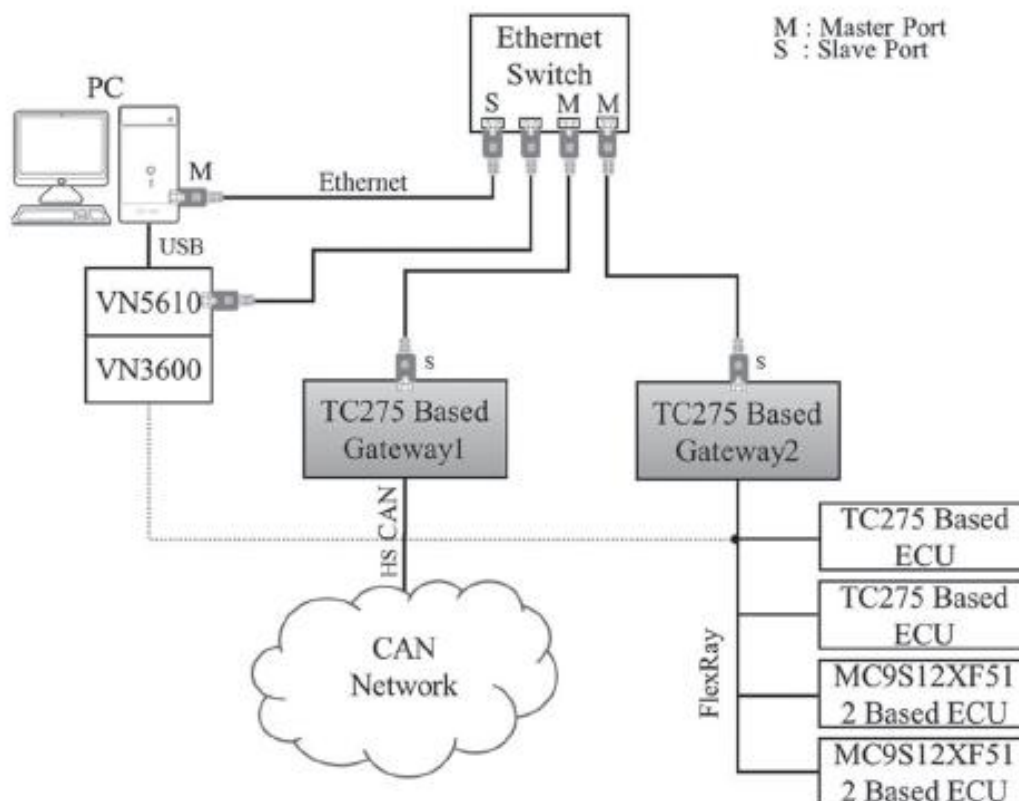
Fonte: Thangamuthu *et al.* (2015, p. 59).

No último artigo ainda não comentado referente a simulação (E5), os requisitos e demandas de aplicações automotivas foram separadas em classes de critério pelos próprios autores e na sequência foi efetuada uma simulação simples para avaliar o funcionamento do middleware, e posteriormente, uma simulação em uma rede veicular realista adaptada com switches entre as redes CAN. A ferramenta utilizada para criação e simulação dos modelos foi OMNet++.

A validação em hardware do middleware proposto por E6 foi efetuada com 3 ECU's idênticas, sendo esta comunicação realizada em uma taxa de 10Gbits/s. A metodologia de se usar uma largura de banda elevada foi interessante para avaliar a capacidade de gerenciamento do middleware em especificações de tempo crítico, porém em ambiente automotivo, as taxas estão limitadas há 1Gbits/s até o momento (1000BASE-T1), sendo que o ideal seria avaliar com o próprio semicondutor de par trançado (PHY) automotivo.

Já a validação do mecanismo de sincronismo externo proposto em E3 foi desenvolvida com hardwares adequados para indústria automotiva. O método de validação foi realizado com hardwares automotivos embarcados (TC275) atuando como gateways entre os dois nós (neste caso a gateway Ethernet-FlexRay foi utilizada em teste) e com interfaces de Ethernet Automotiva e FlexRay (VN5610 e VN3600) para comunicação com o computador como mostra a Figura 13. O *clock drift* foi eliminado, sendo a gateway pronta para atuar em QoS para aplicações de segurança crítica em tempo real no futuro.

Figura 13 – Testes de sincronismo externo com hardwares



Fonte: Lee, Kim e Jeon (2017, p. 5745).

Q4: Quais são as lacunas e as oportunidades de estudo relacionados a qualidade dos serviços aplicado a redes embarcadas em veículos com arquiteturas modernas?

Apenas observando a nuvem de palavras da Figura 9 nota-se, mesmo com palavras de apenas de 6 artigos, que as aplicações críticas em tempo real ainda são lacunas no estudo de QoS com redes automotivas, seja este orientado a serviço, com arquitetura veicular em zonas e/ou TSN. Aplicações em tempo real demandam muito tráfego de rede e precisam ter sua qualidade garantida.

Os estudos E1 e E4 que efetuam a validação de *shappers* em seu pior caso, apontam trabalhos futuros em sincronização pois em certos casos alguns erros ocorreram nas simulações. O segundo artigo (E2), que atua na mesma linha de simulação de pior caso, acabou sem efetuar alguma sugestão ou lacuna para estudos futuros. Existe a possibilidade destas lacunas de sincronismo já terem sido sanadas, já que os *shappers* analisados já foram publicados em 2017. O estudo 3 (E3) apenas aponta que irá expandir o mecanismo de sincronização para que o

clock drift seja eliminado para outras redes automotivas também, como CAN e LIN por exemplo. Visto que a padronização TSN ainda não lançou todos os QoS para aplicações automotivas, trabalhos neste tópico continuam sendo um bom alvo de estudo.

Os trabalhos de pesquisa com middlewares (E5 e E6) representaram a parte mais inovadora deste mapeamento sistemático. As abordagens sugeridas já pensam em arquiteturas de software orientada a serviços para AUTOSAR Adaptativo e também sugerem estudos orientados a serviço para sistemas críticos de tempo real. O trabalho E6 já possui o seu middleware implementado na camada acima de SOME/IP, restando como trabalhos futuros a implementação em outros protocolos. Apesar de trazer a problemática de acelerar o desenvolvimento de software com COTS (não muito favorável ao ambiente automotivo), o trabalho apontou tendências relevantes ao futuro da indústria automotiva como o desenvolvimento de software automotivo orientado a serviços.

Já o quinto trabalho (E5) sugere um middleware de QoS dinâmico capaz de comunicar e negociar tráfego de rede com todos os protocolos automotivos, sendo o tráfego controlado não apenas em camada 2 mas sim por camadas de aplicação, porém ainda não há implementações em nenhum dos protocolos, apesar de ter seu modelo de QoS baseado em SOME/IP. O trabalho não cita apenas software orientado a serviço, mas também aponta que esta negociação dinâmica de QoS será essencial no tráfego de rede com arquiteturas veiculares separadas em zona, onde ECU's de vários tipos de aplicações compartilharam o mesmo meio físico de transmissão de rede, isto é, mesmo tráfego de rede no mesmo par trançado de cabos.

4 CONCLUSÃO

Foram encontradas excelentes referências em estudos dirigidos à qualidade de serviço para redes automotivas, porém em pouca quantidade devido a busca ter sido efetuada para publicações a partir de 2015 que foi o ano do trabalho de Otani. IEEE demonstrou ser a base mais relevante para este tipo de pesquisa, já que a maioria dos artigos selecionados foram publicados nesta base. Mesmo com a pouca quantidade de artigos analisados e discutidos, pode-se concluir que o objetivo principal deste mapeamento sistemático foi alcançado, isto é, todos os questionamentos foram respondidos com as informações mais atualizadas sobre o assunto. Em contraponto, novos questionamentos e curiosidades também surgiram, sendo estes apresentados como trabalhos futuros a seguir.

Como primeiro trabalho futuro sugere-se aplicar este mesmo mapeamento sistemático com um filtro um pouco mais abrangente, afim de encontrar pesquisas a partir de 2010 quantificando assim um pouco mais os dados extraídos, que neste mapeamento ficou limitado a 6 artigos. É muito importante filtrar os resultados por critério de qualificação, neste caso, o aplicado foi *Qualis/CAPES* da Ciência da Computação. Este filtro garante que muitos artigos publicados em âmbito nacional, isto é, que não estão sendo discutidos globalmente influenciem na pesquisa. Como a indústria automotiva vem se desenvolvendo cada vez mais rápido, é muito importante que já sejam analisados os trabalhos de pesquisas que já estão em discussão internacionalmente.

Sugere-se também, como segundo trabalho futuro, aplicar o mesmo modelo de mapeamento sistemático executado, mas com palavras chave de busca focadas em obter um conhecimento específico do que está sendo discutido na atualidade sobre especificamente topologias de arquiteturas eletrônicas veiculares (onde as redes automotivas são distribuídas), pois como já foi apontado neste trabalho, arquiteturas distribuídas em zonas e arquiteturas orientadas a serviço são tendências na indústria automotiva.

Estes dois trabalhos futuros sugeridos poderão mapear informações relevantes correlacionando QoS com as futuras arquiteturas veiculares orientadas a serviço. Assim o pesquisador pode obter novas ideias de pesquisa na área de QoS e redes automotivas avaliando os mais recentes dados discutidos globalmente.

REFERÊNCIAS

BECKER; M., LU, Z.; CHEN D. **Towards QoS-Aware Service-Oriented Communication in E/E Automotive Architectures**. *In: Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8591521>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

CORREA, C. *et al.* **Automotive Ethernet: the definitive guide**. 1. ed. Estados Unidos: Intrepid Control Systems, 2014.

ÇAKIR, M. *et al.* **A QoS Aware Approach to Service-Oriented Communication in Future Automotive Networks**. *In: IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, 2019.

HANK, P.; SUERMANN, T.; MÜLLER S. **Automotive Ethernet, a Holistic Approach for a Next Generation In-Vehicle Networking Standard**. *In: MEYER, G. (org.). Advanced Microsystems for Automotive Applications*. 1. ed. Berlin: Springer, 2012.

KÖNIGSEDER, T.; VÖLKER L. **Lessons learned of 10+ years Ethernet Development**. *In: Proceedings of the 2020 IEEE SA Ethernet & IP @ Automotive Technology Week*, 2020. Acesso: 7 ago. 2021.

LEE, Y. S.; KIM, J. H.; JEON, J. W. **FlexRay and Ethernet AVB Synchronization for High QoS Automotive Gateway**. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. v.66, p. 5737-5751, 2017. Acesso em: 18 ago. 2021.

MATHEUS, K.; KÖNIGSEDER, T. **Automotive Ethernet**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

OTANI, Marcos Vinicius Zimmermann. **Redes Ethernet em aplicações veiculares: uma revisão do estado da arte das soluções da aplicação**. 2016. 42 p. Monografia (Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

PETERSEN, K. *et al.* **Systematic mapping studies in software engineering**. *In: Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE)*, 2008. **EASE'08: Proceedings of the 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software**. Acesso em: 27 jul. 2021.

SANTOS, M. M. D. **Redes de comunicação automotiva: características, tecnologias e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2010.

THANGAMUTHU, S. *et al.* **Analysis of Ethernet-Switch Traffic Shapers for In-Vehicle Networking Applications**. *In: Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, 2015. Proceedings of the 2015 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition. Acesso em: 18 ago. 2021.

THIELE, D.; ERNST, R. **Formal Worst-Case Timing Analysis of Ethernet TSN's Burst-Limiting Shaper**. *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, 2016. Proceedings of the 2016 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7459302?reload=true>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

THIELE, D.; ERNST, R.; DIEMER, J. **Formal Worst-Case Timing Analysis of Ethernet TSN's Time-Aware and Peristaltic Shapers**. *In: IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7385584>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

TUOHY, S. *et al.* **Intra-Vehicle Networks: a review**. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. v.16, p. 534-545, 2015. Acesso em: 20 ago. 2021.

VÖLKER L. **Communication Protocols for Ethernet in The Vehicle**. *In: Automotive BUS Systems + Ethernet*. Sindelfingen, 2013. Acesso: 10 ago. 2021.

VÖLKER L. **SOME/IP**. Online: 2012-2021. Disponível em: <<http://www.some-ip.com/index.shtml>>. Acesso: 10 ago. 2021.

ZENG, W. *et al.* **In-Vehicle Networks Outlook: achievements and challenges**. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**. v.18, p. 1552-1571, 2016. Acesso em: 21 ago. 2021.